

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра гідрології суші

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Максимальний стік весняного водопілля в
басейні р. Десна і визначення його розрахункових характеристик

Виконала магістр 2-го року навчання
групи МГ- 2
спеціальності 103 «Науки про Землю»
освітньо-наукової програми
«Гідрологія»
Стасюк Людмила Вікторівна

Керівник д-р геогр. наук, професор
Гопченко Євген Дмитрович

Консультант

Рецензент канд. геогр. наук, доцент
Сербов Микола Георгійович

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____ Гідрометеорологічний інститут _____
Кафедра _____ гідрології суші _____
Рівень вищої освіти _____ магістр _____
Спеціальність _____ 103 «Науки про Землю» _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри гідрології суші
Д-р геогр. наук, проф. Шакірманова Ж.Р. _____

“ 11 ” березня 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Стасюк Людмилі Вікторівні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Максимальний стік весняного водопілля в басейні р. Десна і визначення його розрахункових характеристик

керівник роботи Гопченко Євген Дмитрович, д-р геогр. наук, професор, _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “05” жовтня 2018 року №271-С

2. Строк подання студентом роботи _____ 10 травня 2019 р. _____

3. Вихідні дані до роботи часові ряди спостережень за гідрологічним режимом на протязі періоду від організації постів і до 2010 року.

4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Здійснити статистичну оцінку часових рядів спостережень і картувати розрахункові характеристики максимального стоку річок

2. Визначити розрахункові модулі максимальних витрат води водопілля

3. Обґрунтувати і реалізувати методику для розрахунку характеристик в структурі редуційної формули

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Принципова схема трансформації схилового припливу у русловий стік за умови $t_p > T_o$

2. Принципова схема трансформації схилового припливу у русловий стік за умови $t_p < T_o$

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 11 березня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Вступ	12.03 - 14.03.2019	75	добре
2	Фізико - географічні умови басейну р. Десни	15.03.19 - 22.03.19	75	добре
3	Статистичні характеристики часових рядів максимальних витрат води і шарів стоку	23.03.19 – 29.03.19	75	добре
4	Розрахункова модель формування характеристик максимального стоку	30.03.19 – 06.04.19	85	добре
Рубіжна атестація		15.04.19 - 21.04.19		
5	Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Десни	16.04.19 – 19.04.19	75	добре
6	Обґрунтування і реалізація методики для розрахунку характеристик в структурі редуційної формули	20.04.19 - 22.04.19	75	добре
7	Перевірка на плагіат, підписання авторського договору	10.05.19 - 13.05.19		
8	Оформлення роботи	14.05.19 – 15.05.19		
9	Підготовка доповіді, презентації	16.05.19 – 24.05.19		
Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			76,6	добре

Студент _____
(підпис)

Стасюк Л. В. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Гопченко Є. Д. _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота студентки гр. МГ-2 Стасюк Л.В. на тему «Максимальний стік весняного водопілля в басейні р. Десна і визначення його розрахункових характеристик»

Актуальність теми. Розрахункові характеристики максимального стоку річок (зокрема, тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі) відносяться до провідних, але їх використання обмежується наявністю матеріалів гідрологічних вимірювань. За цих умов виникають труднощі удосконалення методик в області максимального стоку річок.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є необхідність визначення розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля на сучасних матеріалах спостережень.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження є басейн р. Десна. Предмет дослідження – максимальний стік весняного водопілля та визначення його розрахункових характеристик.

Методи дослідження. У роботі було застосовано розрахункову методику для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля.

Результати, їх новизна полягають у визначенні на сучасних стокових матеріалах розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Десна.

Теоретичне та практичне значення. Отримані результати рекомендуються для використання з метою підвищення якості розрахункових характеристик весняного водопілля на регіональному рівні (басейн р. Десна).

Структура і обсяг роботи:

кількість сторінок – 79;

кількість рисунків – 12;

кількість таблиць – 9;

кількість літературних джерел – 22.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МАКСИМАЛЬНИЙ СТІК, ВЕСНЯНЕ ВОДОПІЛЛЯ, НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ, СТІК РІЧОК, РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

SUMMARY

Masters thesis of the student of the gr. MG-2 Stasiuk L.V. on the topic «Maximum Runoff during Spring Floodat the Desna River Basin and Determination of its Calculated Characteristics»

Relevance of theme. The estimated characteristics of the maximum runoff of rivers (in particular, the duration of the flow of water from the slopes to the river network) are the leading, but their use is limited to the presence of materials hydrological measurements. Under these conditions, difficulties arise in improving methods in the area of maximum river flow.

Goals and objectives of the study. The purpose of the work is the need to determine the estimated characteristics of the maximum runoff of spring water on modern observational materials.

The subject and the aim of the research. The object of the study is the Desna River Basin. The subject of study - the maximum flow of spring floodat and determine its calculated characteristics

Research methods. In the work, a calculation method was used to standardize the characteristics of the maximum runoff of spring floodat.

The results, their novelty, consists in realization on the current runoff series of the calculated characteristics of the maximum runoff of spring floodat in the basin of the Desna River.

Theoretical and practical significance. The obtained results can be used to improve the quality of the calculation characteristics of spring water at the regional level (the Desna river basin).

Structure and scope of work:

Number of Pages – 79;

Number of figures – 12;

Number of tables – 9;

Number of references – 22.

KEYWORDS: MAXIMUM RUNOFF, SPRING FLOODAT, NORMATIVE DOCUMENTS, RIVER FLOW, CALCULATING CHARACTERISTICS.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. Коротка фізико – географічна характеристика басейну р. Десна.....	10
1.1 Географічне положення та рельєф басейну р. Десна.....	10
1.2 Ґрунти та рослинність.....	12
1.3 Кліматичні умови.....	13
1.4 Гідрологічна вивченість та особливості режиму стоку річок.....	15
2. Статистичний аналіз часових рядів максимальних витрат води і шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Десна.....	19
2.1 Метод моментів	19
2.2 Метод найбільшої правдоподібності.....	24
2.3 Біноміальний розподіл Пірсона III типу.....	26
2.4 Трипараметричний гамма – розподіл С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля.....	28
2.5 Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Десна	29
2.6 Визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Десна	31
3. Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Десна.....	33
3.1 Редукційні формули	33
3.2 Об’ємні формули	34
3.3 Нормативні формули максимального стоку весняного водопілля річок	38
3.4 Розрахункова методика для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Десни	46
4. Обґрунтування розрахункової методики для нормування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Десни.....	51
4.1 Розрахункова модель для визначення характеристик	

максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Десна.....	51
4.2 Визначення розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Десна.....	55
4.3 Визначення розрахункових параметрів максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Десна.....	58
4.4 Просторове узагальнення максимальних модулів схилового припливу весняного водопілля в басейні р. Десна.....	59
4.5 Оцінка точності вихідних даних по результатах статистичної обробки часових рядів максимальних витрат води в басейні річки Десни.....	63
4.6 Оцінка впливу водойм руслового типу (проточні озера і водосховища).....	64
ВИСНОВКИ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТКИ.....	70
ДОДАТОК А.....	71
ДОДАТОК Б.....	72
ДОДАТОК В.....	73
ДОДАТОК Г.....	74
ДОДАТОК Д.....	75
ДОДАТОК Е.....	76
ДОДАТОК Є.....	77
ДОДАТОК Ж.....	79

ВСТУП

Максимальний стік весняного водопілля відноситься до числа тих гідрологічних характеристик, які суттєво впливають на безпеку гідрологічних споруд, що знаходяться у долинах річок. Розрахункові характеристики паводків і водопіль регламентуються нормативними документами. Теоретична база їх ґрунтується на формулах, переважно емпіричного походження.

Магістерська робота присвячена розробці теоретичної формули для визначення максимальних витрат води річок. За основу прийнята математична модель, яка схематично представлена трикутниками, утвореними гілками підйому і спаду, які перетинаються у верхів'ї гідрографів стоку. Блокова схема з нелінійних трикутників описується рівняннями степеневого вигляду, окремо для схилового і руслового стоку. Інтегрування рівнянь схилових і руслових гідрографів, відповідно по їх тривалостях, дало змогу обґрунтувати розрахункові формули максимальних модулів стоку річок. Вони описуються рівняннями в залежності від модулів схилового припливу, коефіцієнтів часових нерівномірностей схилового припливу і руслового стоку та ефектів русло – заплавного зарегулювання складових гідрографів водопіль.

Мета і задачі дослідження полягають в удосконаленні науково-методичної бази для нормування розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля і її реалізація на матеріалах басейну річки Десни.

Об'єктом дослідження є басейн р. Десна. Предметом дослідження є максимальний стік весняного водопілля.

Результати, їх новизна полягають у геометричній моделі формування водопіль, удосконалена розрахункова база, формула максимального стоку

річок. Отримані результати використані в робочій моделі характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Десна.

Апробація роботи. Основні результати магістерської роботи були оприлюднені в:

- збірнику наукових праць XIII міжнародної наукової міждисциплінарної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених Випуск XIII, Київ 2017.

- матеріалах V Міжнародної наукової конференції молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» 29-30 листопада 2017 р., ХНУ, Харків 2017.

- III міжнародній науковій конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» 21-23 березня 2018 р., ОДЕКУ, Одеса 2018.

- конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету 02-08 травня 2018 р., ОДЕКУ, Одеса 2018.

- матеріалах VI Міжнародної наукової конференції молодих вчених 29-30 листопада 2018 р., м. Харків.

Кількість друкованих праць: 8 тез доповідей і матеріалів конференцій:

- Міжнародних – 4 (2017, 2018);
- Всеукраїнських – 1 (2018);
- Всеукраїнський конкурс студентських робіт – 2 (2017 , 2018);
- конференція молодих вчених ОДЕКУ – 1 (2018);
- наукові студентські семінари кафедри гідрології суші – 20 (2017 - 2019).

Магістерська робота виконана на замовлення Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського, лист від 04.04.18, № 17.08/708.

1. КОРОТКА ФІЗИКО – ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ Р. ДЕСНИ

1.1 Географічне положення та рельєф басейну р. Десни

Річка Десна протікає по території Смоленської та Брянської областей у Російській Федерації та у Сумській, Чернігівській та Київській областях на території України. Бере свій початок на Смоленській височині, у болоті Голубєв Мох, поблизу с. Юрієво у Смоленській області (приблизні координати $54^{\circ} 35' 38''$), спочатку тече на південь, потім на південний-захід, де впадає у Дніпро з лівого берегу на північній околиці столиці України – місті Києві (приблизні координати гирла $50^{\circ} 33' 03''$)[1].

Річка Десна впадає в Дніпро, що обумовлює її гідрографічні особливості. Густота річкової мережі в районі річки Десна становить $0,29 \text{ км}^2$. Довжина річки від витoku до гирла становить 1130 км (рис.1.1).

Басейн річки характеризується відносно рівною поверхнею, із незначними різницями у висотах. В межах басейну Десни виділяють в рельєфі острови, складені лесовими породами, та які підіймаються над пісчаною рівниною на 40-50 м. Більш інтенсивно розчленований в частині Українського Полісся, особливо в його східній частині, де висоти правих берегів Десни, що обриваються, досягають 100 м.

Басейн Десни займає Придніпровська впадина, яка у східному напрямку поступово переходить в південно-східний схил Середньоруської височини (межу між ними можна умовно провести по крайніх західних виходах на денну поверхню порід верхньокрейдового періоду).

Заплавна частина тераси в більшій або меншій мірі виражена протягом всієї течії Десни, однак її ширина та геологічна будова на різних ділянках

суттєво відрізняється, що залежить в першу чергу від напрямку та інтенсивності голоценових рухів земної кори.

Суббасейн річки Десна є цілісним. Межа суббасейну р. Десна проходить по лінії державного кордону з Республікою Білорусь, Російською Федерацією та через населені пункти по лінії вододілу[1]. Територія описуваного району знаходиться у лісостеповій та степовій зонах і представлена на рис 1.1.



Рисунок 1.1 - Карта географічного положення басейну річки Десна[2]

1.2 Ґрунти та рослинність

По всій течії Десна в більшості протікає по території дерново-підзолистих ґрунтів. В середній течії Десни, на правому березі, зустрічаються сірі лісові, а в нижній течії тільки у заплавної частині, зустрічаються типові чорноземи[3].

Для дерново-підзолистих ґрунтів басейну Десни у межах Українського Полісся в першу чергу характерна чітка диференціація профілю по елювіально-ілювіальному типу. Верхній гумосово-елювіальний горизонт потужністю 10-20(22) см, світло-сірого, чи буровато-сірого кольору, розсипчастий, не міцно комкуватий чи шурувато-комкуватий. Під ним залягає підзолистий горизонт, який у середньопідзолистих ґрунтів за потужністю менше чи рівний верхньому; у сильнопідзолистих ґрунтів він явно переважає верхній, в загальності опускаючись до 35-40 см. У слабопідзолистих ґрунтів він відсутній чи в нижній частині верхнього горизонту представлений карманами чи гніздами. Цей безгумусовий, явно бідний горизонт тонко-пластичної чи шаруватої структури, майже націло складається із кремнізема.

Сірі лісові ґрунти представляють собою ґрунти корінних лісів, які ніколи не були під степом. Це дуже слабо гумусова на ґрунти з малою потужністю гумусованого профілю (20-30 см), з малим вмістом перегною (2-3,5 %). Загальний запас гумусу – 70-90 т в метровому шарі на 1 га.

Типові чорноземи представлені у лісо-степовій частині України та дуже добре збагачені гумусом. Гумусовані на велику глибину (100-120 см). Вміст гумусу в них 4-7%, а загальні запаси гумусу в метровому шарі (400-600) т на 1 га.

Протягом всієї течії Десна протікає з хвойних до широколистих лісів. Від витoku починаються світло-хвойні соснові ліси. Потім рослинність плавно переходить у змішаний ліс сосни з дубом, після чого переходить у

листяний ліс, де проростає граб, дуб, також зустрічаються сосни. Ліси представлені десятима формаціями: сосною, дубовою, дубово – сосною, грабово – дубовою, вільховою, грабовою, липово – дубово – сосною, березовою та ялинковою[4].

1.3 Кліматичні умови

Основні риси клімату описуваної території формуються під впливом загальних і місцевих кліматоутворюючих факторів.

Згідно метеорологічним показникам, клімат на даній території помірно континентальний - з теплим літом і помірно холодною зимою.

Територія розташована поблизу основних шляхів переміщення циклонів і антициклонів над Європейською територією Російської Федерації і північною частиною України. Зміна хвиль теплої і холодної повітря, що чергуються, створює нестійку погоду, викликає грозові дощі влітку, короткочасні відлиги взимку[5].

Вологість повітря. Вологість повітря є дуже важливим елементом режиму зволоження. Вона залежить від циркуляційних процесів і особливостей підстильної поверхні, та характеризується абсолютною та відносною вологістю і нестачею насичення (дефіцитом насичення).

Абсолютна вологість змінюється у відповідності зі зміною температури повітря. Найменших значень вона досягає у січні-лютому, а максимальних у липні.

Температурний режим визначається особливостями атмосферної циркуляції, радіаційними факторами та характером підстилюючої поверхні.

В зимовий час суттєвий вплив на формування температурного режиму має атмосферна циркуляція. В теплий час року температурний режим

визначається радіаційними факторами, разом з ними значний вплив має підстилаюча поверхня.

У кліматі даної території чітко виражено чотири пори року: весна, літо, осінь і зима. Опадів в середньому за рік випадає від 550 до 600 мм. Найбільша кількість опадів випадає в липні (від 80 до 100 мм), найменша - в грудні, січні, лютому (по 25 - 35 мм в місяць).

Сніговий покрив з'являється в середині жовтня. Стійкий сніговий покрив встановлюється зазвичай до 10 - 15 грудня. За зиму випадає 160 мм опадів. Щільність снігового покриву змінюється в часі і просторі. До моменту сніготанення щільність складає 0,20 - 0,26.

Головним з них є надходження тепла від сонця, яке в основному залежить від географічної широти місцевості, збільшуючись з півночі на південь. Дуже важливим фактором також є атмосферна циркуляція. Територія, яка розглядається, знаходиться під впливом повітряних мас, що надійшли з Атлантики, Арктичного басейну, чи сформувалися над обширними континентальними територіями Євразії.

Характер та інтенсивність основних кліматоутворюючих факторів суттєво відрізняються по сезонах року.

Приток атлантичних помірних мас обумовлює м'якість зими при значній хмарності, повернення холодів навесні, пізні весняні заморожування[5].

Континентальні, гарячі і сухі маси повітря приносять посушливу погоду влітку. Дія режиму вітрів, надходження і витрачання сонячного тепла, ступінь і характер хмарності, кількість опадів обумовлюють різноманітність типів погоди на території.

При всій різноманітності типів погоди найбільше число днів взимку доводиться на слабо – і помірно морозну погоду, а літом — на хмарну (різного ступеню), похмуру і дощову. Окремі календарні роки виділяються то лютою зимою, то посушливим літом.

Згідно метеорологічних показників, клімат на даній території помірно континентальний – з теплим літом і помірно холодною зимою. Запаси води у сніговому покриві накопичені перед початком сніготанення. Середній запас води в сніговому покриві становить 40 – 69 мм. Остаточний схід сніжного покриву відзначений в середньому по території на початку квітня. Тривалість періоду сніготанення визначається як числом днів між датою початку сніготанення та датою сходу стійкого сніжного покриву.

Вітровий режим обумовлюється атмосферною циркуляцією та характером підстильної поверхні. Для досліджуваної території переважаючими є швидкості вітру 2 – 4 м/с. Середні місячні швидкості вітру у листопаді – березні становлять 2,6 – 3,2 м/с. Максимальна швидкість, зафіксована вимірювальними приладами (флюгером, анемометром) переважно сягає 6,9 – 7,8 м/с у лютому, мінімальна 1,1 – 1,6 м/с у червні.

В цілому погодні умови літнього сезону відрізняються значним підвищенням температури за рахунок прогріву земної поверхні, значною повторюваністю ясних днів, рідкими туманами, збільшенням кількості опадів і активною грозовою діяльністю. За багаторічними даними, літні процеси продовжуються до середини серпня, потім характер циркуляції різко змінюється. В цей час стоїть переважно суха погода без опадів[5].

1.4 Гідрологічна вивченість та особливості режиму стоку річок

Гідрографічна мережа розвинута нерівномірно, на території басейну досить велика кількість малих річок та струмків. Середня густота річкової мережі становить 0,29 км/км². Річки басейну р. Десна належать до рівнинних з широкими долинами та заболоченими заплавами[6].

Стік Десни на українській ділянці річки реєструється на трьох гідрологічних постах: Розльоти (відстань від гирла – 461 км, площа водозбору – 36300 км²), Чернігів (205 км, 81400 км²) і Літки (36 км, 88500 км²).

У магістерській роботі використані дані по 19 – ти гідрологічних постах в басейні річки Десни (рис.1.2) і (дод. А. 1).

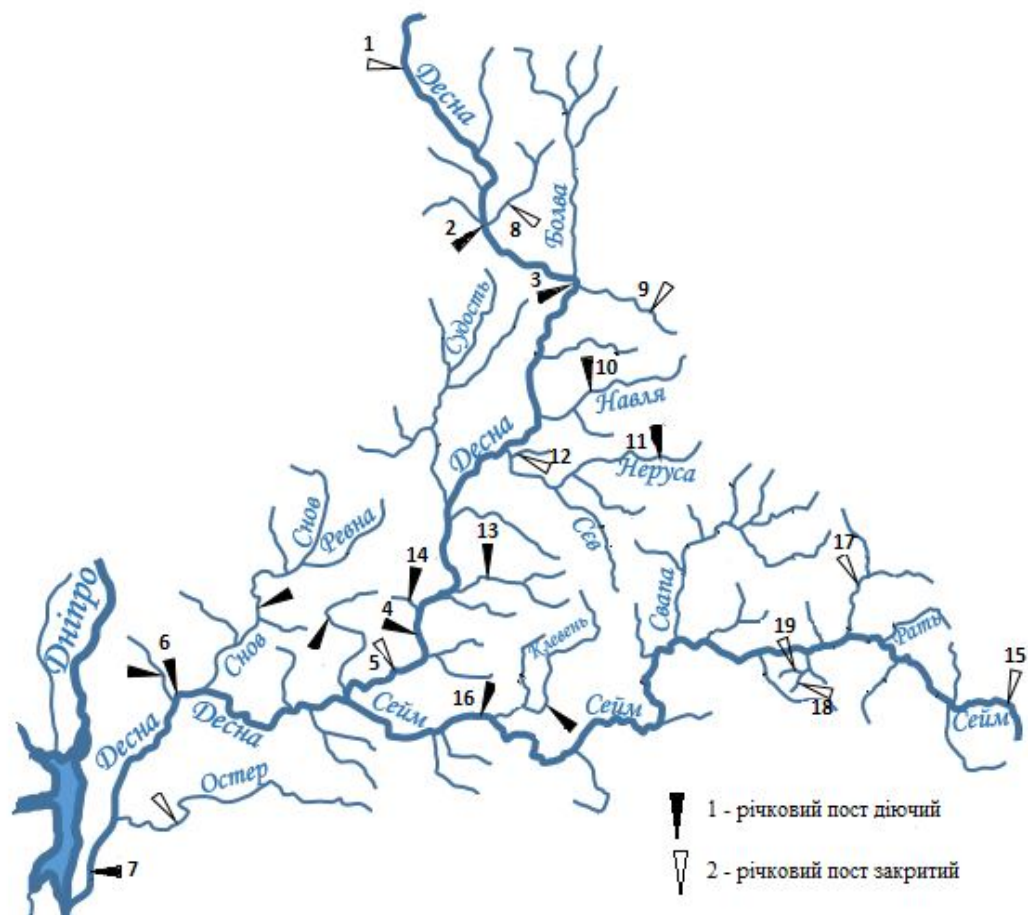


Рисунок 1.2 – Карта – схема розміщення гідрологічних постів в басейні р. Десна

Водний режим річок басейну Десни визначається кліматичними, орографічними і гідрографічними особливостями території і характеризується достатньо вираженим весняним водопіллям і літньо-

осінньо-зимовою меженню, яка порушується дощовими паводками і відлигами.

Характер водного режиму річок більшою мірою визначається особливостями водопілля, його тривалістю і участю талих вод в річному стоці, які обумовлюються типом живлення річок.

Річки описуваного району мають змішане живлення, причому в північній частині території роль талого стоку у формуванні річного значно більша, чим в південній частині. Частка дощових вод в річному стоці на півдні більша, ніж на півночі.

Співвідношення снігового і дощового живлення змінюється в різні за водністю роки. Стік весняного водопілля в багатоводні роки становить 70-80% річного, в середні за водністю роки – 60-70%, а в маловодні – 50-60%.

В осінньо-зимовий період під час переходу температури повітря до від'ємних значень на річках відмічаються льодяні утворення (забереги, сало, шуга, льодостав)[7].

Водопілля формуються сніготаненням та випадінням рідких опадів у весняний період в умовах різного ступеня вологості та промерзання ґрунтів. Умови формування весняного стоку пов'язані також і з місцевими особливостями підстильної поверхні такими, як рельєф, заболоченість, залісеність, наявність карстових областей, характер ґрунтів на водозборах.

Найбільш багатоводними є річки, що беруть початок на відрогах Смоленсько-Московської і Середньоруської височинах. Так, середній модуль стоку річки Десни біля с. Олександрівка рівний $6,55 \text{ дм}^3/\text{с з км}^2$ і змінюється в окремі роки від 3,84 до $12,1 \text{ дм}^3/\text{с з км}^2$. По території вони розподілені нерівномірно.

Найбільш тривалий період спостережень є на р. Десна – м. Брянськ (82 роки) та на р. Головесня – с. Покошичі (76 років), найбільш короткий (20 років) на р. Неруса – с. Радогощ. Найбільша площа водозбору становить 36300 км^2 на р. Десна – с. Разльоти а найменша площа $29,5 \text{ км}^2$ на р. Десна – с. Лукашівка.

Переважаюча кількість річок басейну представляє собою типові рівнинні водотоки. Долини їх у верховинах вузькі, V – типові, далі – широкі, трапеціїдальні. Схили терасовані, праві – помірно круті та круті, ліві – пологі. Заплава лугова, рідше – кущова, зазвичай суха, більшою частиною рівнинна. Русло річки Десна, помірно розгалужене чи пряме, сильно заростаюче, особливо біля берегів. Дно муловато-пісчане. Береги низькі, круті та обривисті, задерновані чи поросли кущами. В межінь річки сильно міліють.

При підготовці цього розділу використані матеріали спостережень і досліджень підрозділів державної гідрометеорологічної служби.

Основні гідроморфологічні та гідрографічні характеристики представлені у (дод. А. 1.).

2. СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ МАКСИМАЛЬНИХ ВИТРАТ ВОДИ І ШАРІВ СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р. ДЕСНА

При виконанні гідрологічних розрахунків однією з основних задач є установлення ймовірнісних властивостей випадкових величин на основі законів розподілу. Для оцінки статистичних параметрів розроблені спеціальні статистичні методи.

2.1 Метод моментів

В основі цього методу лежить визначення статистичних параметрів кривих розподілу через статистичні моменти. Поняття моментів прийшло в статистику з механіки, де воно використовується для опису розподілу мас. У статистиці значення дискретної випадкової величини представляється у вигляді матеріальної точки з масою, пропорційною ймовірності з'явлення цієї випадкової величини. Тоді сума добутків усіх можливих значень випадкової величини x , на імовірність цих значень p , являє собою абсцису центру усієї системи N матеріальних точок (математичне сподівання):

$$m_x = \sum_{i=1}^n p_i x_i \quad (2.1)$$

або середньозважене із значень x_i , причому кожне із значень під час осереднення враховується з вагою, пропорційною імовірності появи цього значення[8]

$$m_x = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^N p_i x_i}{\sum_{i=1}^N p_i}, \quad (2.2)$$

$$\text{де } \sum_{i=1}^n p_i = 1.0$$

При описуванні властивостей статистичних сукупностей використовуються моменти двох видів: початкові α та s центральні μ_s :

$$\alpha_s = \sum_{i=1}^n p_i x_i^s; \quad (2.3)$$

$$\mu_s = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^s p_i \quad (2.4)$$

де s – порядок моменту.

Перший початковий момент α_1 дорівнює математичному сподіванню m_x . Другий центральний момент називають дисперсією і позначають σ_x^2 . З них найбільше застосування у статистиці знайшли статистичні моменти $\alpha_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ та їх безрозмірні характеристики (нормовані моменти). Останні мають такий вигляд.

- коефіцієнт варіації

$$C_v = \frac{\sqrt{\mu_2}}{m_x}, \quad (2.5)$$

- коефіцієнт асиметрії

$$C_s = \frac{\mu_3}{\sigma_x^3}, \quad (2.6)$$

- ексцес

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma_x^4} - 3 \quad (2.7)$$

Кожен з цих моментів містить у собі певну інформацію про характер розподілу випадкової величини. Перший початковий момент μ_1 або математичне сподівання m_x , є центром розподілу випадкової величини.

Другий центральний момент μ_2 або дисперсія σ_x^2 характеризує розсіювання значень випадкової величини відносно математичного сподівання. Дисперсія випадкової величини має розмірність квадрату випадкової величини. Але для більш наочної характеристики розсіювання зручно користуватися величиною, розмірність якої співпадає з розмірністю випадкової величини[9].

Для цього з дисперсії добувають квадратний корінь. Отримана величина називається середнім квадратичним відхиленням (стандартом) випадкової величини і позначається символом σ_x . Стандарт представлений у безрозмірному вигляді формулою (2.5), називається коефіцієнтом варіації.

Третій центральний момент μ_3 служить характеристикою асиметрії розподілу. Якщо розподіл випадкової величини симетричний відносно m_x , то μ_3 дорівнює нулю. Безрозмірна характеристика асиметрії з формули (2.6) називається коефіцієнтом асиметрії.

Четвертий центральний момент μ_4 використовується для характеристики так званої «крутості», тобто гостровершинності, кривої розподілу. Ця властивість розподілу описується за допомогою так званого ексцесу (2.7). Число 3 віднімається від співвідношення тому, що для нормального закону розподілу $\mu_4/\sigma_x^4=3$. Отже ексцес нормального закону розподілу E дорівнює 0. Додатній ексцес означає, що крива більш гостровершинна, у порівнянні з нормальною. Більш плоскі відносно нормальної криві мають від'ємний ексцес.

Розглянемо вибіркові оцінки перелічених моментів:

$$\hat{a}_1 = \sum_{i=1}^n p_i x_i ; \quad (2.8)$$

$$\beta_2 \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i; \quad (2.9)$$

$$\beta_3 \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^3 p_i; \quad (2.10)$$

$$\beta_4 = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^4 p_i \quad (2.11)$$

де n – тривалість вибірок;

$\hat{a}_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – вибіркові оцінки статистичних моментів;

p_i – відносна частота кожного значення x_i .

Вибіркова оцінка математичного сподівання називається середнім арифметичним значенням. Якщо вихідний ряд розглядати як згрупований, у якому кожному значенню випадкової величини відповідає абсолютна частота, що дорівнює одиниці, тоді відносна частота розраховується за формулою

$$p_i = \frac{1}{n}, \quad (2.12)$$

а формули для розрахунків статистичних моментів набувають такого вигляду

$$\hat{a} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.13)$$

$$\beta_2 = \sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}, \quad (2.14)$$

$$\beta_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n}, \quad (2.15)$$

$$\beta_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n}. \quad (2.16)$$

Нормовані статистичні моменти C_v та C_s можна виразити через модульні коефіцієнти K_i :

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (2.17)$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{nC_v^3}, \quad (2.18)$$

$$\text{де } k_i = \frac{x_i}{\bar{x}} \quad (2.19)$$

Оцінки центральних статистичних моментів другого, третього та більш вищих порядків не відповідають вимогам незміщеності. Отже при використанні розрахункових формул, наведених вище, ми будемо обчислювати моменти з систематичною похибкою. Для уникнення цього у формули (2.14), (2.15), (2.17) та (2.18) вводяться поправочні коефіцієнти:

для другого центрального моменту:

$$\frac{n}{n - 1}, \quad (2.20)$$

для третього:

$$\frac{n^2}{(n-1)(n-2)}. \quad (2.21)$$

В результаті розрахунків формули мають такий вигляд:

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (2.22)$$

або

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}}, \quad (2.23)$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 n}{\sigma_x^3 (n-1)(n-2)}, \quad (2.24)$$

або

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 n}{C_V^3 (n-1)(n-2)}, \quad (2.25)$$

Ексцес не використовується у гідрологічних розрахунках, тому що при відносно не довгих рядах стоку він є недостовірним.

Слід відзначити, що введення поправочних множників (2.20) та (2.21) допомагає усунути зміщеність параметрів стокових рядів лише при $C_V \leq 0.5$. При $C_V > 0.5$ застосування методу моментів у гідрологічних розрахунках не рекомендується [10].

2.2 Метод найбільшої правдоподібності

Метод найбільшої правдоподібності – метод математичної статистики, у якому за оцінку невідомого значення параметру щільності імовірності

береться те його значення, при якому функція правдоподібності досягає свого максимуму для даної вибірки випадкових величин, звідки і пішла назва – метод найбільшої правдоподібності[11]. Математичний вираз для функції правдоподібності з невідомим параметром має такий вигляд:

$$L(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n^{\theta}) = f(x_1^{\theta}), f(x_2^{\theta}), \dots, f(x_n^{\theta}) \quad (2.26)$$

Відповідно до правил диференційного числення для того, щоб знайти оцінку θ , необхідно вирішити рівняння:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = 0. \quad (2.27)$$

Якщо для деякого параметра θ існує його ефективна оцінка, то вона є єдиним в цьому випадку рішенням рівняння (2.27). Метод найбільшої правдоподібності приводить до обґрунтованих оцінок з незначним зміщенням. Але вид розрахункових формул статистичних параметрів залежить від обраного закону розподілу випадкової величини. Є.Г. Блохінов застосував метод найбільшої правдоподібності до трипараметричного гама-розподілу С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля. Строге рішення приводить до складних трансцендентних рівнянь. У зв'язку з цим був запропонований спрощений засіб оцінки параметрів. У результаті отримані такі статистики:

$$\lambda_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (2.28)$$

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg \frac{x_i}{\bar{x}}}{n}; \quad (2.29)$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\bar{x}} \lg \frac{x_i}{\bar{x}}}{n}. \quad (2.30)$$

Перша із статистик λ_1 дорівнює середньоарифметичному значенню випадкової величини X . Дві інші (λ_2, λ_3) функціонально зв'язані з коефіцієнтом варіації C_V та коефіцієнтом асиметрії C_S . Для переходу від λ_2 та λ_3 до C_V та C_S/C_V побудовані спеціальні номограми [12].

Деяка зміщеність параметрів λ_2 та λ_3 може бути усунена за рахунок поправочного множника $\frac{n}{n-1}$, тоді

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1}, \quad (2.31)$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \lg k_i}{n-1}. \quad (2.32)$$

2.3 Біноміальний розподіл Пірсона III типу

Якщо початок відліку з'єднати з модою, то її рівняння буде мати вигляд:

$$f(x) = y_0 e^{-x/d} (1 - x/a)^{a/d}, \quad (2.33)$$

де a – відстань від початку кривої до моди;

d – радіус несиметричності;

y_0 – модальна ордината.

Параметри цього рівняння зв'язані з центральними моментами розподілу, як

$$a + d = \frac{2\beta_2}{\beta_3}, \quad (2.34)$$

де β_2 і β_3 – відповідно другий та третій центральні моменти.

З (2.33) простими перетвореннями можливо отримати одне з важливих властивостей біноміального розподілу, яке визначає значущість його використання.

Для цього β_2 і β_3 визначені через статистичні параметри m_x , C_v та C_s .

Взявши до уваги, що $\beta_2 = \sigma_x^2$, а $C_v = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}$ запишемо

$$\beta_2 = C_v^2 m_x^2, \quad (2.35)$$

Третій центральний момент, як було показано раніше, зв'язаний з коефіцієнтом асиметрії C_s та середнім квадратичним відхиленням

$$\beta_3 = C_s \sigma_x^3 = C_s C_v^3 m_x^3, \quad (2.36)$$

звідси

$$a + d = 2C_v^4 m_x^4 (C_s C_v^3 m_x^3) = \frac{2C_v m_x}{C_s}. \quad (2.37)$$

Підставимо (2.34) та (2.35) в (2.33), тоді

$$m_x - x_{min} = 2C_v \frac{m_x}{C_s}, \quad (2.38)$$

або

$$C_s = \frac{2C_v}{1 - k_{min}}, \quad (2.39)$$

де $k_{min} = x_{min}/m_x$ – модульний коефіцієнт мінімального значення

ряду. При цьому необхідно розглянути три можливих випадки:

- 1) $x_{min}=0$;
- 2) $x_{min}>0$;
- 3) $x_{min}<0$.

В першому випадку $C_s=2C_v$, в другому – $C_s > 2C_v$, в третьому – $C_s < 2C_v$.

З властивостей кривої біноміального розподілу Пірсона III типу можна відмітити наступне: вона відокремлена нижньою, але не відокремлена верхньою межою, тобто $x \rightarrow \infty$ крива асимптотично наближається до осі абсцис, опираючись на три статистичних параметри: x_{max} , C_v та C_s , а при $x_{min}=0$ стає двопараметричним розподілом тому, що C_s не є самостійним параметром і може бути знайденим за умови $C_s=2C_v$ [13].

2.4 Трипараметричний гама-розподіл С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля

Дана крива представляє більш загальний випадок розподілу, який відповідає стоковим рядам при будь-яких значення параметрів C_v та C_s . Така властивість трипараметричного гама-розподілу виключає область від'ємних значень при екстраполяції емпіричних кривих забезпеченості в нижній частині. Відмічена універсальність досягається завдяки заміні ознаки розподілу x через нову перемінну Z

$$Z = bx^c, \quad (2.40)$$

де b та c – параметри функції.

При $C_s = 2C_v$ криві Пірсона III типу та трипараметричного розподілу співпадають, при цьому новий закон називається гама-розподілом та описується наступним рівнянням[14]:

$$F(Z) = a^\alpha z^{\alpha-1} - \frac{e^{-az}}{\Gamma(\alpha)}, \quad (2.41)$$

де a – параметр, який дорівнює $1/C_{vz}^2$, а $\Gamma(a)$ – гама-функція або інтеграл Ейлера другого роду:

$$\Gamma(a) = \int_0^\infty z^{a-1} e^{-z} dz. \quad (2.42)$$

Різниця між (2.40) та (2.41) при $C_s=2C_v$ пояснюється тільки тим, що при виводі рівняння (2.40) відлік ведеться не від модального значення, а від початку кривої розподілу, тобто при цьому ознака розподілу завжди знаходиться в області плюсових значень.

Якщо C_s відрізняється від $2C_v$, то (2.40) перетворюється в рівняння трипараметричного гама-розподілу

$$f(z) = \frac{\beta^\alpha z^{\alpha-1} e^{-\beta z}}{\Gamma(\alpha)}, \quad (2.43)$$

Параметри β та a зв'язані з параметрами C_s та C_v :

$$\alpha = \frac{4}{C_{vz}^2} \text{ та } \beta = \frac{2}{C_{sz} C_{vz}}. \quad (2.44)$$

При $\alpha = \beta$, що означає – $C_s=2C_v$, рівняння (2.41) зводиться до (2.40).

Для витрат води в басейні Десни були розраховані величини за трипараметричним гама-розподілом С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля[14].

2.5 Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води в басейні р. Десна

Відповідно до рекомендацій СНіП 2.01.14-83, статистична обробка рядів максимальних витрат води здійснюється з використанням кривих біноміального й трипараметричного гама-розподілу.

Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води виконана за методами моментів та найбільшої правдоподібності по 19 гідрологічних постах, з періодом дослідження по 2010 рік.

Результати статистичної обробки часових рядів максимальних витрат води весняного водопілля наведені в (дод. Б.1.). Коефіцієнти варіації C_v , розраховані з використанням методу моментів в рядах максимальних витрат води весняного водопілля, коливаються від 0,41 (р. Десна – с. Літки) до 1.05 (р. Сейм – с. Гущине), а при застосуванні методу найбільшої правдоподібності – відповідно по рядах – 0,42 (р. Десна – с. Літки) до 1.11 (р. Сейм – с. Гущине). З метою порівняння цих величин побудовано відповідний графік.

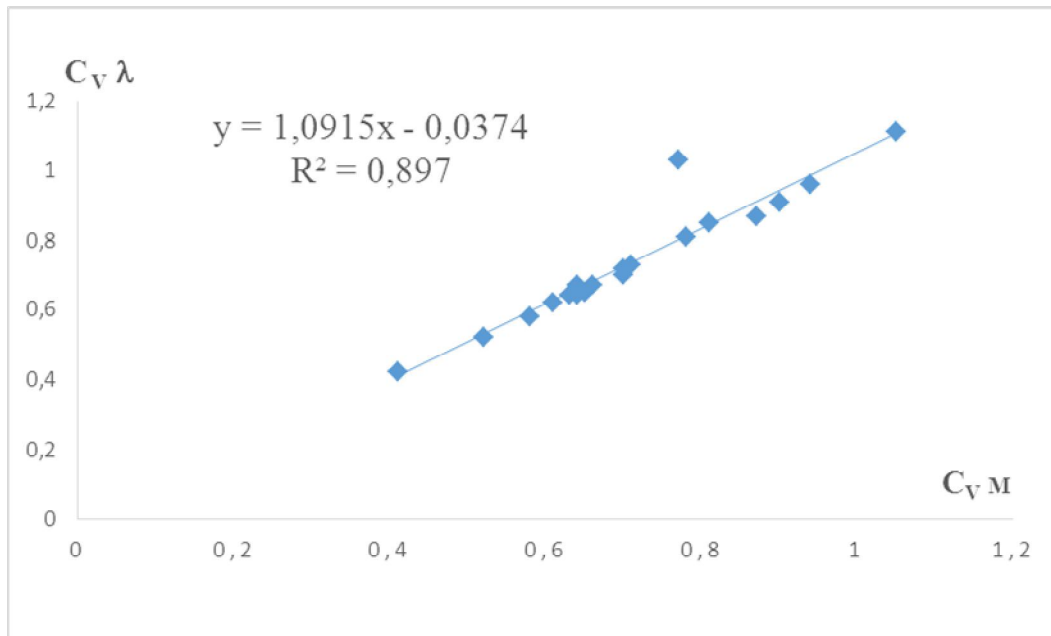


Рисунок 2.1 – Порівняння коефіцієнтів варіації максимальних витрат води весняного водопілля, розрахованих за методами моментів (вісь абсцис) і найбільшої правдоподібності (вісь ординат)

Середнє значення коефіцієнта варіації з використанням методу моментів для басейну становить 0,71, а коефіцієнт варіації методу найбільшої правдоподібності буде становити 0,74.

Середнє значення коефіцієнта асиметрії з використанням методу моментів для басейну становить 1,55, а коефіцієнт асиметрії за методом найбільшої правдоподібності буде становити 1,99.

Отримані значення більші ніж ті, що рекомендує СНіП2.01.14 – 83 ($C_v > 0,5$), а тому за його рекомендаціями слід використовувати метод найбільшої правдоподібності[15].

2.6 Визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля витрат води рідкісної забезпеченості в басейні р. Десна

Точність обчислення ординат кривих розподілу різної ймовірності перевищення

Особливості вибірових ординат кривих розподілу досліджувались в роботах З. Ф. Волкової і Л. Ф. Сотнікової . Розрахунки проведені методом статистичних випробувань відносно трипараметричного гама – розподілу.

Значення стандартних похибок свідчать про досить надійне встановлення випадкових похибок в розглядуваній характеристиці для будь – якого довірчого рівня, якщо розподіл цих оцінок наближений до нормального. Але теоретичного вирішення цієї задачі поки-що немає.

С.М.Крицький та М.Ф.Менкель розробили номограми для визначення відносних стандартних похибок квантелів трипараметричного гама – розподілу $E_{\sigma} = \frac{\sigma_{Q_p} \sqrt{n}}{Q_p}$, залежно від відношенням C_s/C_v . Таким чином, визначивши величину E_{σ} за номограмою, знайдемо відносну середню квадратичну похибку квантилів Q_p за формулою

$$\sigma_{Q_{1\%}} = \frac{E_{\sigma}}{\sqrt{n}} 100 \quad (2.44)$$

Розрахунки оцінки точності параметрів і квантелів, встановлених методом моментів, виконані А. В. Рождественським (1974)[15]. Порівняння похибок вибірових параметрів і квантелів, визначених методом моментів і найбільшої правдоподібності, засвідчили, що метод найбільшої правдоподібності має більшу точність розрахунків порівняно з методом моментів[16].

Точність вихідної інформації становить 17,2 %.

Отримані результати представлені в (дод. Д. 1.).

Порівнюючи коефіцієнти, які отримані за сучасними даними та наведені в нормативному документі СНіП 2.01.14-83, можна відмітити,

що вони близькі між собою. Тим більше ці величини є досить стійкими в часі та, можуть бути використані у подальших розрахунках.

3. ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МЕТОДИКИ ДЛЯ НОРМУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р. ДЕСНА

3.1 Редукційні формули

Першу спробу узагальнення існуючих формул для розрахунку максимального стоку використав у 1959 році Д. Л. Соколовський.

Загальний вигляд, редукційних формул належить Д. І. Кочеріну (1932)

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}}, \quad (3.1)$$

де q_m – максимальний модуль стоку;

q'_m – максимальний модуль схилового припливу;

F – площа водозборів;

n_1 – показник степені редукції.

За простою процедурою вихідної формули (3.1) побудована емпірична залежність у логарифмічних координатах $l_g q_m = l_g q'_m - n_1 l_g(F+1)$.

Показник степені n_1 є тангенс кута нахилу лінії зв'язку до лінії абсцис, а відрізок, що відсікається по ординаті (за умови $F=0$) – максимальний модуль схилового припливу q'_m . Виявилось, що крім цієї умови, характер редукції багато в чому залежить від шару стоку за період водопілля, причому

$$q'_m = k_0 Y_m, \quad (3.2)$$

де k_0 – коефіцієнт «дружності» весняного водопілля

Якщо (3.2) підставити в (3.1), то

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (3.3)$$

У методичному відношенні шари стоку за період весняного водопілля картувались, а k_0 – районувались. З'ясувалось, що формула (3.1) при збільшенні площі водозборів, порівняно з середніми і великими річками має

уповільнену редукцію. Для урахування пониження степеневого показника n_1 в області невеликих річок ($F \leq 10 \text{ км}^2$) у знаменник рекомендовано додати параметр «b» $< 10 \text{ км}^2$. Таким чином, формула (3.1) набула вигляду[17]:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+b)^{n_1}} \quad (3.4)$$

На наш погляд, така процедура описання природного процесу виявилась некоректною. Оскільки при $F=0$ має місце відношення $q_m/q'_m = \frac{1}{b^{n_1}} < 1.0$, тоді як за (3,1) при $F=0$ відношенню $q_m/q'_m = 1.0$.

3.2 Об'ємні формули

На відміну від редукційних, в їх основу покладено одномодальний гідрограф з тривалістю T_n , об'ємом w_{cm} і максимальною витратою води Q_m . Причому:

$$w_{cm} = \frac{1}{K_\Phi} Q_m T_n, \quad (3.5)$$

а

$$Q_m = K_\Phi \frac{w_{cm}}{T_n}, \quad (3.6)$$

де K_Φ — коефіцієнт форми руслового гідрографа

$$K_{\Phi} = \frac{Q_m T_n}{w_{cm}} = \frac{Q_m}{\bar{Q}_{T_n}}, \quad (3.7)$$

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

Для лінійної форми гідрографів :

$$T_n = t_p + T_o, \quad (3.8)$$

а

$$Q_m = \frac{2Y_m}{T_o + t_p}, \quad (3.9)$$

де t_p – тривалість руслового добігання повеневої хвилі;

T_o – тривалість схилового припливу води зі схилів до руслової мережі.

Вихідний варіант об'ємної формули, запропонований В. І. Мокляком, має вигляд

$$Q_m = \frac{K_{\Phi} Y_m}{m_o T_o + t_p + t_n}, \quad (3.10)$$

де m_o – коефіцієнт залісеності і заболоченості;

t_n – тривалість переміщення фронту сніготанення;

Y_m – шар стоку за водопілля.

Найбільш широке розповсюдження серед формул об'ємного типу отримала структура, запропонована Д. Л. Соколовським (1945).

Модельний гідрограф він приймав у вигляді двох парабол, які перетинаються у вершині. Рівняння гідрографа записується в редакції:

– гілка підйому

$$Q_t = Q_m \left(\frac{t}{t_n} \right)^m; \quad (3.11)$$

– гілка спаду

$$Q_t = Q_m \left(\frac{t_{cn} - t}{t_{cn}} \right)^n, \quad (3.12)$$

t_n – тривалість підйому,

t_{cn} – тривалість спаду.

В узагальненому варіанті об'єм стоку W становить

$$W = Q_m t_n \frac{(n+1) + \gamma(m+1)}{\gamma} \quad (3.13)$$

Відносно витрати води

$$Q_m = \frac{W}{t_n} \frac{(m+1)(n+1)}{(n+1) + \gamma(m+1)} = \frac{W}{t_n} f, \quad (3.14)$$

де f - коефіцієнт форми гідрограф.

$$f = \frac{(m+1)(n+1)}{(n+1) + \gamma(m+1)} \quad (3.15)$$

Максимальний модуль стоку дорівнює

$$q_m = \frac{Y_m}{t_n} f \quad (3.16)$$

Тривалість паводка (водопілля) дорівнює

$$T_n = t_n + t_{c_n} = t_n(1 + \gamma) \quad (3.17)$$

З урахуванням (3.17)

$$q_m = \frac{Y_m}{t_n} f (1 + \gamma) \quad (3.18)$$

За Д. Л. Соколовським (1968) структура (3.18) для розрахунку максимального стоку дощових паводків має вигляд

$$q_m = \frac{H_m \eta}{T_n} f(1 + \gamma) \quad (3.19)$$

де H_m – кількість опадів за дощ;

η – коефіцієнт паводкового стоку.

Сумарний модуль паводкового стоку дорівнює

$$q_{m\text{сум}} = q_m + q_{\text{гр}} \quad (3.20)$$

де $q_{\text{гр}}$ – модуль ґрунтової складової

3.3 Нормативні формули максимального стоку весняного водопілля річок

Нормативні рекомендації узагальнювали багаторічний досвід в області теорії і практики гідрологічних розрахунків, накопичений науково-дослідними інститутами та проектними водогосподарськими організаціями. В галузі максимального стоку весняних водопіль і дощових паводків до розрахункових характеристик відносяться: максимальні витрати води, об'єми, шари стоку та гідрографи стоку.

Положення нормативних документів поширюються на проектування річкових гідротехнічних споруд, залізничних і автомобільних доріг, меліоративних систем, водопостачання, планування і забудівлі населених генеративних планів розвитку промислових і сільськогосподарських об'єктів, здійснення протипаводкових заходів[18].

Перша спроба теоретичного аналізу стоку зливових і весняних вод належить Ф. Г. Зброжеку (1902). Середній секундний модуль стоку q_0 дорівнює

$$g_o = \frac{1,95 H \alpha}{T_g + t_p}, \quad (3.21)$$

де H – шар дощових опадів;

α – коефіцієнт стоку;

T_g – тривалість дощу;

t_p – тривалість руслового добігання .

На наш погляд, тривалість паводка T_{Π} дорівнює $(T_g + t_p)$, об'єм стоку $Y_m = H * t_p$, максимальна секундна ордината $g_m = g_o$.

Тривалість паводка прийнята по сумі $(T_g + t_p)$. Але в дійсності

$$T_{\Pi} = T_g + t_{cx} + t_p, \quad (3.22)$$

де T_g – тривалість стокоформуєного дощу;

t_{cx} – схилова тривалість добігання повеневих і паводкових хвиль.

Значний внесок у розвиток теорії формування стоку здійснив саме М. Є. Долгов. На його матеріалах було отримано гідрограф повного схилового стоку з наявністю фази усталеного стоку.

Під керівництвом Г. Д. Дубеліра (1928) були запропоновані, обговорені й прийняті форми НТКНКПС (науково – технічний комітет наркома шляхів сполучення). Вони мали вигляд [18].

$$Q_m = C * \eta * F, \quad (3.23)$$

де Q_m – максимальна витрата води;

F – площа водозбору;

C – максимальний модуль стоку, представлений картою ізоліній;

η – збірний коефіцієнт стоку

Розвиваючи ідеї М. Є. Долгова, М. М. Протод'яконов пропонує формулу граничної інтенсивності з урахуванням співвідношення між тривалостями схилового припливу T_o і руслового добігання t_p :

- при $t_p < T_o$

$$g_m = 16.67 (a k - i), \quad (3.24)$$

де a – кліматичний коефіцієнт зливи у центральному районі (при $k = 1.0$);

i – інтенсивність інфільтрації (мм / хв.)

- при $t_p > T_o$

$$g_m = 16.67 (a k - i) \varphi, \quad (3.25)$$

де φ - коефіцієнт, який дорівнює відношенню площі одночасного стоку до F .

Розрахункову інтенсивність зливи a_T пропонується визначати за формулою

$$a_T = 5 / (1 + 0.06 T), \quad (3.26)$$

де T – розрахункова тривалість дощу

Оригінальну методику для розрахунку максимальних модулів стоку запропонували М. М. Чегодаєв і Є. В. Болдаков (1953), яка була реалізована в ВСН – 55, а потім і в ВСН 63- 61. Вихідне рівняння мало вигляд

$$g_m = 16.67 a_1 k_F \phi \delta, \quad (3.27)$$

де a_1 – розрахункова інтенсивність водовіддачі;

k_F – коефіцієнт просторової редукції зливових опадів;

δ – коефіцієнт для врахування впливу озер і водосховищ.

Основний параметр розрахункової схеми a_1 визначається по шару водовіддачі h_{Σ}

$$a_1 = \frac{h_{\Sigma}}{t_{\Sigma}} = \frac{H - \sum i}{t_{\Sigma}}, \quad (3.28)$$

де t_{Σ} – тривалість водовіддачі

В нормах 1931 року були запропоновані рекомендації щодо розрахунку максимальних модулів весняного водопілля на базі редукційної формули (в редакції Д. І. Кочеріна), а в 1938 р. – в основу покладено ту ж саму формулу, але в редакції Д. Л. Соколовського (1937).

$$q_m = \frac{g'_m}{(F+1)^{0.25}} \delta \delta_1 \quad (3.29)$$

При практичному застосуванні в формулі (3.29) параметр g'_m визначається за відповідною картою.

Нормами М. М. Протод'яконова передбачається також розрахунок змішаного стоку від сніготанення і весняних дощів Q_d

$$Q_{зм} = Q_c + Q_d \quad (3.30)$$

Підготовку нормативного документу «Указания по определению расчетных гидрологических характеристик (СН 435 – 72)» здійснював колектив науковців Д Г І (м. Ленінград). Методи розрахунку максимальних витрат води розглядаються окремо для весняного водопілля і дощових паводків[18].

Вихідні часові ряди вважаються достатніми для встановлення розрахункових величин, якщо вони відповідають таким вимогам на періодах спостережень:

- для лісотундрової і лісової зон не менше - 25 років
- для лісостепової зони - 30 років
- для степової зони - 40 років
- для сухостепової і напівпустельної - 50 років
- для гірських районів - 40 років

Для водозборів з площами $F < 2000 \text{ км}^2$ на ЄТС і $F < 5000 \text{ км}^2$ – на Азіатській території СРСР, розрахунки здійснюються за формулами, які, умовно поділяються на 2 групи: 1 – рівнинні, 2- гірські.

Розрахункова максимальна витрата води рівнинних річок визначається за формулою

$$Q_p = \frac{k_0 h_p \mu}{(F+1)^{n_1}} \delta \delta_2, \quad (3.31)$$

де Q_p – розрахунковий миттєвий модуль стоку, ймовірністю P %, $m^3/c, km^2$;

h_p – розрахунковий шар сумарного стоку водопілля ймовірністю перевищення P %, мм;

k_0 – параметр, який характеризує дружність водопілля;

μ – коефіцієнт, який враховує відмінність в статистичних параметрах шарів стоку і витрат води;

δ – коефіцієнт впливу на максимальний стік озер і водосховищ;

δ_2 – редукційний коефіцієнт впливу залісеності і заболоченості на водозборах.

Значення параметрів n_1 і k_0 представлені у табличній формі, залежно від природних зон і категорії рельєфу.

Наступним етапом удосконалення нормативної бази в Радянському Союзі був СНіП 2.01.14-83.

Розрахунковий максимальний модуль стоку весняного водопілля щорічної ймовірності перевищення P % визначається за структурою (3.31), але в дещо іншій редакції

$$Q_{p\%} = \frac{k_0 h_{p\%}}{(F+b)^{n_1}} \mu \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3 \quad (3.32)$$

де «b» - емпіричний параметр, який враховує зменшення інтенсивності редуції модуля максимального стоку в області невеликих водозборів ($F \leq 10 \text{ км}^2$);

δ – коефіцієнт впливу озер і водосховищ на Q_p % ;

δ_1 – коефіцієнт впливу залісеності водозборів;

$$\delta_1 = a / (f_{\text{л}} + 1) n^1 \quad (3.33)$$

n^1 – коефіцієнт редуції, представлений таблицею з урахуванням природної зони та ґрунтового покриття водозборів і місцеположення лісу на водозборах;

$f_{\text{л}}$ – відносна залісеність у %;

δ_2 – коефіцієнт впливу заболоченості водозборів

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg (0.1 f g + 1) \quad (3.34)$$

δ_3 – коефіцієнт зниження максимального модуля на розораних водозборах.

Коефіцієнт k_0 визначається по річках- аналогах, виходячи із структури (3.32).

Для гірських річок також застосовується формула (3.32), але окремі параметри в ній пристосовані для тих чи інших гірських регіонів. Шар весняного стоку $h_{p\%}$ розраховується за такою ж схемою, що і в методиці СН 435 – 72. Відмінності полягають у тому, що в СНіП 2.01.14 – 83 вводяться додаткові параметри до карти шару стоку за водопілля h_o : на розміри водозборів, ухили схилів, озерність, залісеність, заболоченість і розораність.

Нез'ясованим залишається питання, чому не вводяться поправки до коефіцієнта дружності водопілля k_o .

Структура рівняння (3.32) за своєю редакцією відповідає формулам державного нормативного документу СНіП 2.01.14 - 83, але базова формула цього документу, за рахунок параметра «b», порушує фізичний зміст верхнього граничного значення максимального модуля схилового припливу, який при $F = 0$ становить $g'_m = \frac{1}{b^{n_1}}$, замість $g_m = g'_m$.

Таким чином, базова модель СНіП 2.01.14 - 83 не відповідає теоретичним вимогам і повинна бути знятою з офіційного використання.

У свою чергу структура нашої методики для розрахунку характеристик максимального стоку річок рекомендується для практичного застосування (без якихось обмежень, причому як для водопіль, так і для дощових паводків)[19].

3.4 Розрахункові методики для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Десни

Методика, що пропонується для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Десни.

Вихідними даними є одномодальні гідрографи трансформації з оператором «опади – схиловий приплив – русловий стік», причому описуються гідрографи рівняннями [20]:

– для схилового припливу

$$q'_t = q'_m [1 - (\frac{t}{T_0})^n]; \quad (3.35)$$

– для руслового стоку

$$q_t = q_m [1 - (\frac{t}{T_n})^m], \quad (3.36)$$

де q'_t – модулі схилового припливу;

q'_m – максимальні модулі схилового припливу;

q_t – модулі руслового стоку;

q_m – максимальні модулі руслового стоку

Розглядається модель формування максимального стоку весняного водопілля (рис 3.1) за умови $t_p < T_0$, де

t_p – тривалість руслового добігання водопільної хвилі;

T_0 – тривалість схилового припливу;

T_n – тривалість руслового стоку весняного водопілля.

Схематично модель трансформації схилового припливу у русловий гідрограф приводиться на рис 3.1 .

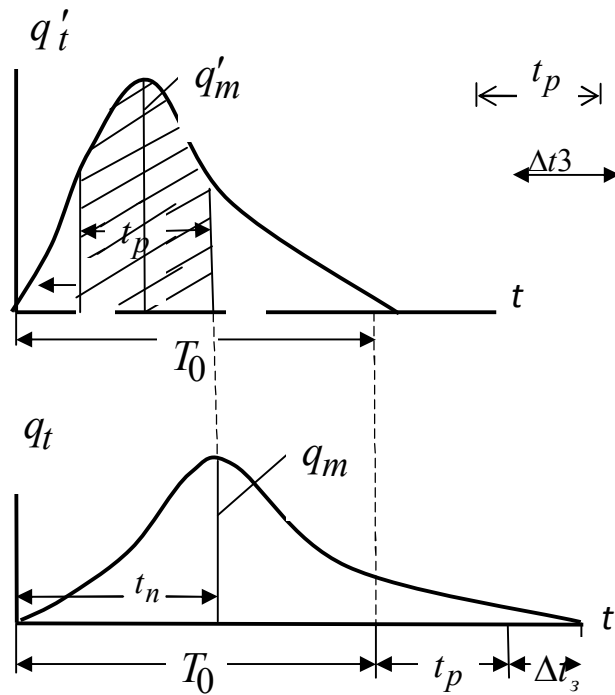


Рисунок 3.1 – Схематична модель формування руслового стоку
весняного водопілля (за умови $t_p < T_0$)

Якщо (3.35) і (3.36) проінтегрувати по T_0 і T_n , то будемо мати шари стоку: Y'_m (схилувий стік) і Y_m (русловий стік) за період водопілля:

$$Y'_m = \int_0^{T_0} q'_t dt = \frac{n}{n+1} T_0 q'_m; \quad (3.37)$$

$$Y_m = \int_0^{T_n} q_t dt = \frac{m}{m+1} T_n q_m \quad (3.38)$$

Визначні весняні водопілля і дощові паводки супроводжуються шарами стоку Y'_m і Y_m , які за умови $t_p < T_0$, можна прирівняти праві частини (3.37) і (3.38), тоді

$$q'_m \frac{n}{n+1} T_0 = q_m \frac{m}{m+1} T_n \quad (3.39)$$

Відносно максимального модуля стоку q_m рівняння (3.39) запишеться у вигляді

$$q_m = q'_m \frac{m+1}{m} \frac{n+1}{n} \frac{T_0}{T_n} \quad (3.40)$$

де $\frac{m+1}{m} \frac{n+1}{n} = k_m$ – коефіцієнт часової нерівномірності стоку за період водопілля;

$\frac{T_0}{T_n} = k_n = \frac{T_0}{T_0 + t_p + \Delta t_z} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t_z}{T_0}} = k_n$ – відношення тривалостей схилового припливу T_0 і руслового стоку T_n . Якщо k_m і k_n підставити у рівняння (3.40), то

$$q_m = q'_m * k_m * k_n * \Delta t_z \quad (3.41)$$

У свою чергу q'_m , виходячи із рівняння (3.37), становить

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y'_m = k_0 Y'_m \quad (3.42)$$

Приймаючи до уваги k_m і k_n та $q'_m = k_0 Y'_m$, запишемо q_m у вигляді

$$q_m = q'_m k_m k_n \quad (3.43)$$

Спрощені формули для розрахунку максимальних модулів стоку мають вигляд

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)n^1} \quad (3.44)$$

або

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)n^1} \quad (3.45)$$

Об'єднуючи варіанти (3.44) і (3.45) доцільно q_m представити в редакції:

$$q_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y'_m / (F+1)n^1 \quad (3.46)$$

Враховуючи, що характеристики схилового припливу $(\frac{n+1}{n}, T_0 \text{ і } Y'_m)$ не вимірюються, то очевидно структури (3.46) досить важко реалізувати в практичній діяльності. Крім того, тривалість схилового припливу T_0 і шари стоку Y'_m мають залежність від залісеності, заболоченості водозборів, їх висотного положення й інші.

В магістерській роботі виконавець використовує структуру рівня (3.44) не тільки за умовою $t_p < T_0$, а також у варіанті $t_p > T_0$ (рис. 3.2)

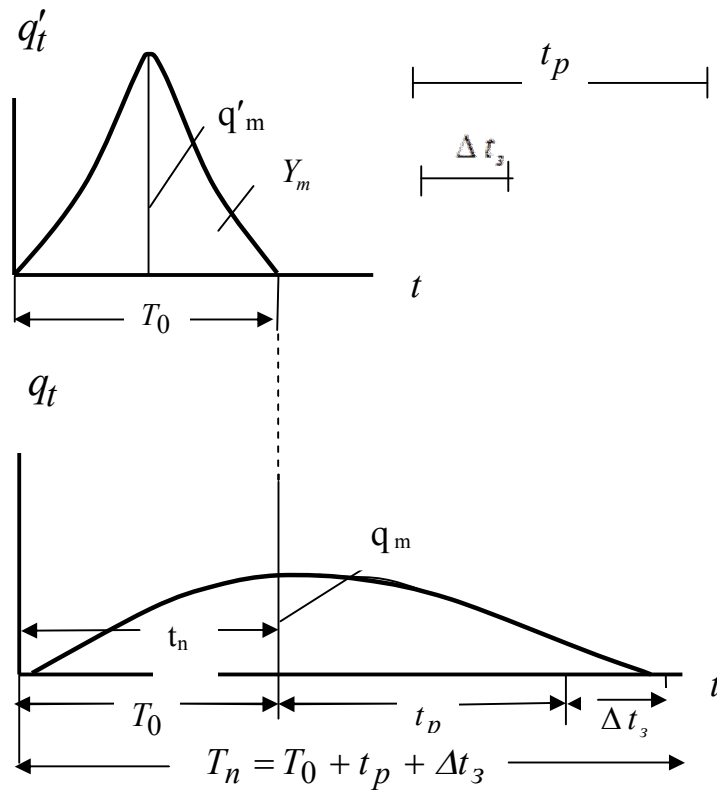


Рисунок 3.2 – Схематична модель гідрографів руслового стоку (за умови $t_p > T_0$)

Максимальний стік дощових паводків і весняного водопілля нормуються в залежності від розміру водозборів.

4. ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МЕТОДИКИ ДЛЯ НОРМУВАННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ВИТРАТ ВОДИ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ДЕСНИ

4.1 Розрахункова модель для визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Десни

Дослідження максимального стоку річок зводиться фактично до вирішення питань, пов'язаних з трансформацією схилового припливу в операторній системі «атмосферні опади – схиловий приплив – русловий стік» (рис. 4.1)



Рисунок 4.1 – Принципова схема формування руслового стоку

Переміщення води у річках безпосередньо відбувається під впливом гідравлічних закономірностей та за рахунок ефектів русло – заплавного регулювання у русловій мережі.

Формування дощових паводків і весняних водопіль є процесом підсумування у межах водозборів об'ємів схилового припливу, що надходить з різних частин річкових систем.

Тривалість руслового добігання є відношенням гідрографічної довжини річок L до швидкості руслового потоку V_q . Залежно від співвідношення між тривалостями схилового припливу T_o і руслового добігання t_p можливі два варіанти формування руслового стоку: при $T_o > t_p$ і $T_o < t_p$ (рис.3.1 і 3.2). На основі отриманих вихідних даних з характеристиками руслового стоку тривалість паводків (водопілля) T_n становить[20]:

$$T_n = T_o + t_p + \Delta t_3, \quad (4.1)$$

де Δt_3 – тривалість, необхідна для спрацювання русло – заплавних об’ємів води, які знаходяться там на момент добігання паводкових (повеневих) хвиль від вододілів до замикальних створів.

Таким чином, провідним фактором трансформації схилового припливу є розспластування паводкових і повеневих хвиль за рахунок тривалості руслового добігання та ефектів русло – заплавного регулювання максимального стоку річок.

У гідрологічній літературі наводиться велика кількість методик для визначення розрахункових характеристик максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль. Але більшість з них має емпіричне походження і ґрунтується на залежностях максимальних модулів стоку від розмірів водозборів або тривалості руслового добігання та декількох параметрів, за допомогою яких враховується регулюючий ефект проточних озер і водосховищ, лісів та болот. До редуційних формул максимального стоку весняного водопілля і дощових (паводків) відносяться й об’ємні структури, засновані на одномодальних гідрографах паводків і водопіль. У магістерській роботі нами розглядається редуційна структура, яка має вигляд[20]:

$$q'_{p\%} = \frac{q'_{1\%}}{(F+1)^{n_1}} \lambda p\% \delta \text{ і } q_{p\%} = \frac{K_o Y'_{1\%}}{(F+1)^{n_1}} \lambda p\% \delta \quad (4.2)$$

де $q_{p\%}$ – розрахунковий модуль стоку забезпеченістю $P_{\%}$;

K_o – коефіцієнт «дружності» схилового припливу

$$K_o = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_o}; \quad (4.3)$$

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

$Y'_{1\%}$ – максимальний шар повеневого стоку забезпеченістю $P = 1\%$;

F – площа водозборів;

T_o – тривалість схилового припливу;

«b» – емпіричний коефіцієнт, за допомогою якого при площі водозборів $F \leq 10 \text{ км}^2$, враховується додаткове зменшення степеневого показника n_1 у діапазоні невеликих водозборів (з площею $F \leq 10 \text{ км}^2$);

λ_p – коефіцієнт забезпеченості для переходу від опорної забезпеченості $P = 1\%$ до інших;

n_1 – степеневий показник редукції максимальних модулів стоку в залежності від розміру водозборів;

δ – коефіцієнт озерності.

Не зважаючи на те, що формула (4.2) має державний статус, вона, між іншим, порушує його фізичний рівень. Дійсно, враховуючи, що $K_o Y_{1\%}$ дорівнює максимальному модулю схилового припливу, тобто

$$q'_m = K_o Y'_{1\%}, \quad (4.4)$$

то рівняння (4.2), в редакції СНіП 2.01.14 – 83, набуває вигляду:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+b)^{n_1}} + \frac{K_o Y'_{1\%}}{(F+b)^{n_1}} \quad (4.5)$$

За умови $F = 0$, очевидно, що

$$q_m = \frac{q'_m}{b^{n_1}}, \quad (4.6)$$

тоді як теоретично $q_m = q'_m$

Таким чином, структури (4.2) і (4.4) не відповідають фізичним вимогам, оскільки їх функція повинна мати вигляд:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (4.7)$$

або

$$q_m = \frac{K_0 Y_{1\%}}{(F+1)^{n_1}} \quad (4.8)$$

Структури (4.7) і (4.8) можуть рекомендуватися для практичного використання їх замість (4.2) і (4.4).

4.2 Визначення розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Десни

До базових характеристик максимального стоку річок відносяться у першу чергу максимальні модулі весняного водопілля і дощових паводків, а також шари стоку. Досить детально нами розглядаються методи розрахунку максимальних витрат води весняних водопіль у п.п. 3.2, 3.3, 3.4. Більшість розрахункових схем ґрунтуються на емпіричних залежностях характеристик річкового стоку (максимальних витрат води і шарів стоку) від розміру водозборів і деяких інших морфометричних параметрів.

Вихідними даними є одномодальні гідрографи та їх трансформації оператором «схиловий приплив – русловий стік». Описуються гідрографи максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль рівняннями[20]:

– для схилового припливу

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right]; \quad (4.8)$$

– для руслового стоку

$$q_t = q_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_n} \right)^m \right], \quad (4.9)$$

де q'_t – модулі схилового припливу;

q'_m – максимальні модулі схилового припливу;

q_t – модулі руслового стоку;

q_m – максимальні модулі руслового стоку

Трансформація схилового припливу у русловий стік розглядається як результат інтегрування (4.8) і (4.9) по тривалостях T_o і T_n , тобто

$$Y'_m = \int_0^{T_o} q'(t) dt = \frac{n}{n+1} T_o q'_m \quad (4.10)$$

$$Y'_m = \int_0^{T_n} q(t) dt = \frac{m}{m+1} T_n q_m \quad (4.11)$$

Вважається, що високі паводки і водопілля мало різняться між собою по шарах стоку, а тому на підставі даних (4.10) і (4.11) можна записати підсумкове рівняння відносно максимального модуля руслового стоку q_m

$$q_m = q'_m \left(\frac{m+1}{n} \right)^{\frac{n+1}{m}} \frac{T_o}{T_n} = f(F), \quad (4.12)$$

де $\left(\frac{m+1}{n} \right)^{\frac{n+1}{m}} = k_m$ – коефіцієнт часової нерівномірності максимального стоку на протязі водопілля;

$$T_o / T_n = k_n = \frac{T_o}{T_o + t_p + \Delta t_3} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_o} + \frac{\Delta t_3}{T_o}} = f(F) \quad (4.13)$$

З урахуванням k_m ; k_n та q'_m і Δt_3

$$q_m = q'_m * k_m * k_n * \Delta t_3, \quad (4.14)$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу, який має редакцію

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_o} Y'_m = k_o Y'_m, \quad (4.15)$$

k_o – коефіцієнт «дружності» схилового припливу.

Таким чином, з урахуванням (4.15)

$$q_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_o} k_m k_n \Delta t_3 Y'_m = \frac{k_o Y'_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (4.16)$$

Користуючись (4.15), представимо цю залежність в іншій редакції, а саме

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (4.17)$$

Формули (4.16) і (4.17) рекомендуються до практичного застосування у магістерській роботі на базі цих рівнянь здійснено реалізацію даних

гідрологічних спостережень за характеристиками максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Десни.

4.3 Визначення розрахункових параметрів максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Десни

У попередніх підрозділах обґрунтована структура розрахункових формул максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Десни.

Вперше нами доведені в аналітичній редакції структури формул, які до цього часу мали виключно емпіричні залежності[20]:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (4.18)$$

або

$$q_m = \frac{K_O Y_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (4.19)$$

Степеневий показник n_1 можна визначити за допомогою логарифмування рівняння (4.18), тобто представити його наступним чином:

$$l_g q_m = l_g q'_m - n_1 l_g (F+1) \quad (4.20)$$

Вихідні матеріали для побудування залежності $l_g q_{1\%} = f(l_g (F+1))$ представлені таблицею (дод. Е.1) та рис. 4.1

Описується вона рівнянням

$$q_{1\%} = \frac{0,74}{(F+1)^{0,19}} \quad (4.21)$$

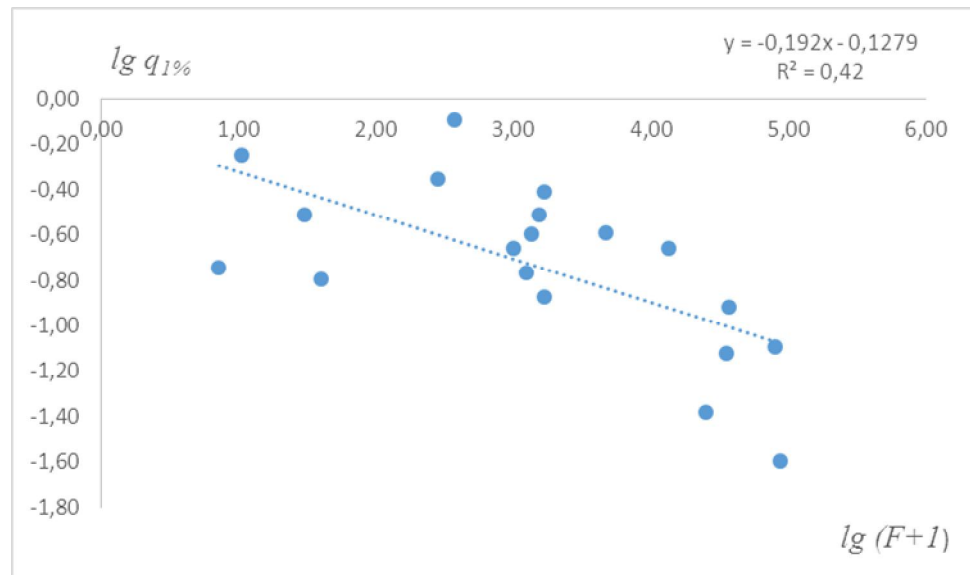


Рисунок 4.1 – Залежність максимальних модулів схилового стоку весняного водопілля забезпеченістю $P = 1\%$ від площі водозборів в басейні р. Десна

Індивідуальні величини максимальних модулів схилового припливу $q'_{1\%}$ становлять

$$q'_{1\%} = q_{1\%} (F + 1)^{0,19} \quad (4.22)$$

Як видно з таблиці (дод. Є. 1.), модулі схилового припливу $q'_{1\%}$ коливаються в широкому діапазоні - від 0,03 (лог Райчик – с. Польова Лукашівка та р. Сейм – с. Мутин) до 0,39 (р.Сейм – с. Гущине), $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$.

4.4 Просторове узагальнення максимальних модулів схилового припливу весняного водопілля в басейні р. Десна

Просторове узагальнення величин максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Десна здійснюється шляхом побудови відповідних карт ізоліній. Картування модулів максимального стоку обумовлено географічними координатами річкових водозборів.

З метою встановлення просторових закономірностей зміни модулів максимального стоку по території р. Десна спочатку була побудована залежність $q'1\% \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ від їх широтного положення (4.23).

Залежність модулів максимального стоку від широтного положення водозборів представлено рівнянням

$$y = 0,3476x - 17,336; \quad r = 0,1828 \quad (4.23)$$

Коефіцієнт кореляції є незначущим, оскільки він дорівнює $r = 0,1828$. Вплив залісеності на максимальні модулі схилового стоку весняного водопілля в басейні р. Десна не спостерігається (рис. 4. 4.).

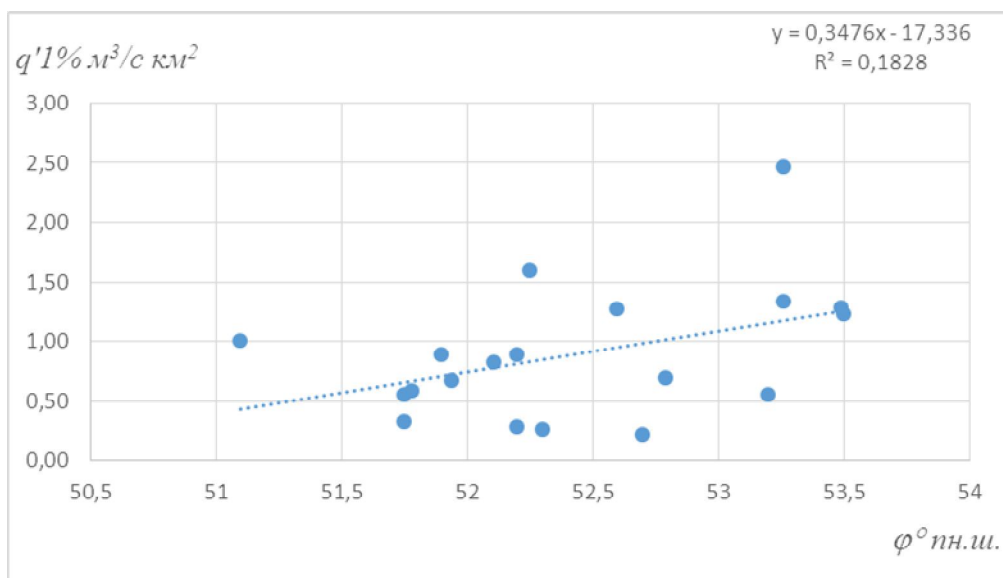


Рисунок 4.3 – Залежність маскимальних модулів схилового стоку весняного водопілля від широтного положення в басейні р. Десна

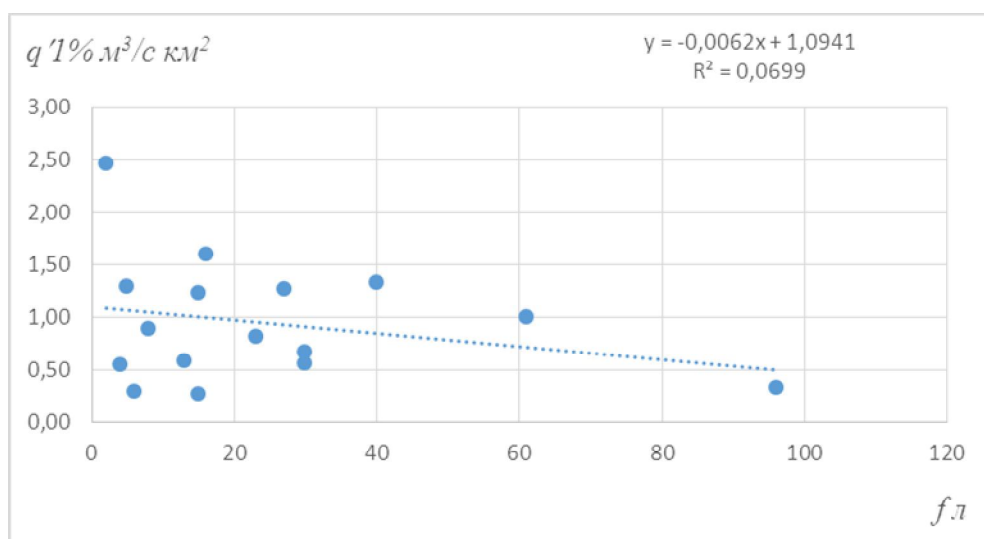


Рисунок 4.4 – Залежність максимальних модулів схилового стоку весняного водопілля від лісистості в басейні р. Десна

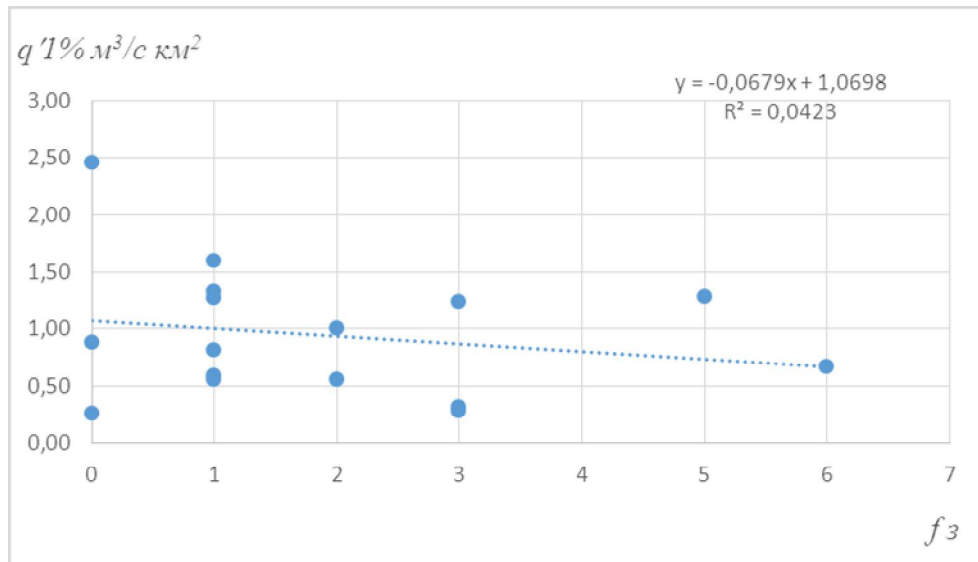


Рисунок 4.5 – Залежність максимальних модулів схилового стоку весняного водопілля від заболоченості в басейні р. Десна.

Відсутній значущий вплив і від заболоченості водозборів.

В свою чергу за таких умов доцільним є картування максимальних модулів схилового стоку $q'1\% \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ (рис. 4.6)

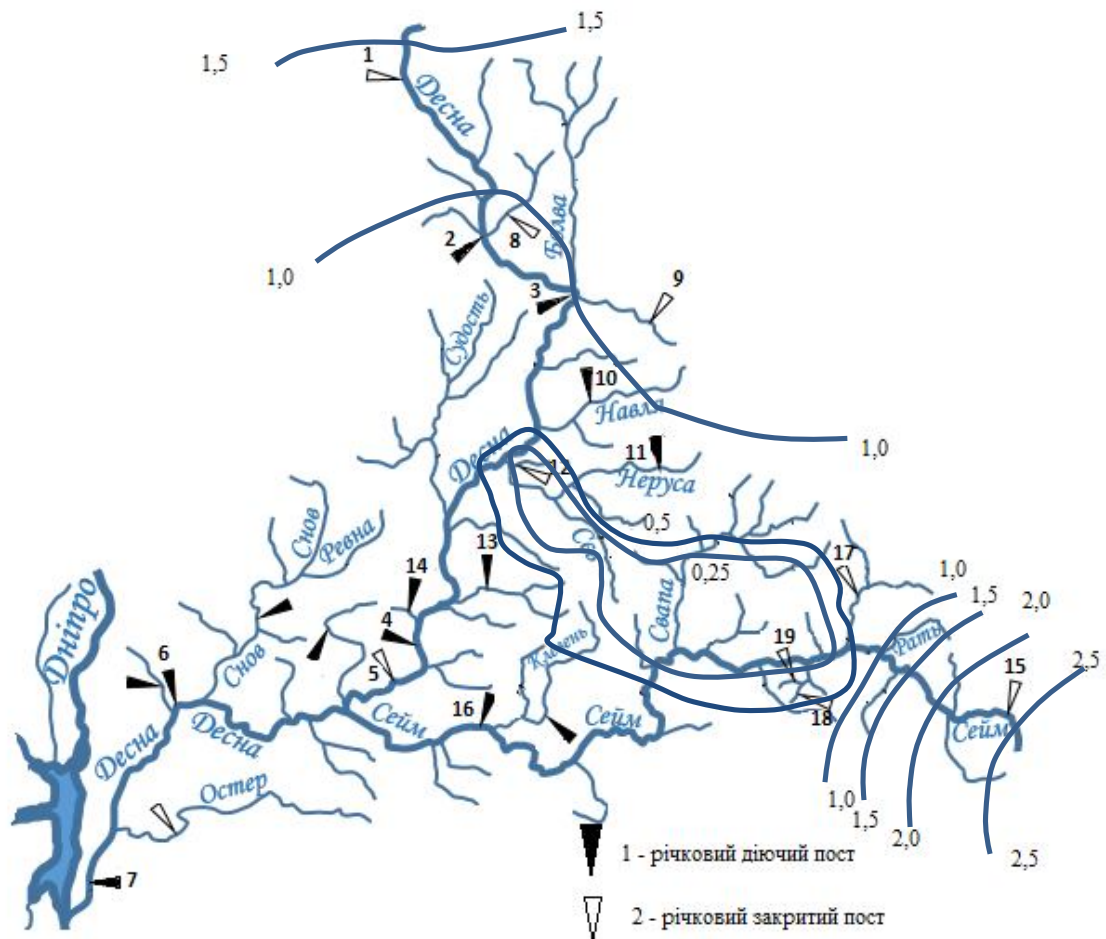


Рисунок 4.6 – Карта ізоліній максимальних модулів схилового стоку весняного водопілля забезпеченістю $P = 1\%$ в басейні р. Десна $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$

Аналізуючи карту можна відмітити, що розрахункові максимальні модулі схилового припливу в цілому збільшуються з північі на південний – захід від $0,25 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ до $2,0 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$. Локальні максимуми ($2,5 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$) спостерігаються на р. Сейм - с. Гушине.

4.5 Оцінка точності вихідних даних по результатам статистичної обробки часових рядів максимальних витрат води в басейні р. Десни

Для перевірки оцінки точності побудованої карти (рис.4.6) виконані перевірочні розрахунки.

Точність розрахунку максимальних модулів стоку за картою визначається як відносне середнє відхилення розрахункових значень ($q'_{1\% \text{розрах}}$) від фактичних ($q'_{1\% \text{факт}}$).

$$|\Delta \bar{q}| = \frac{|q_p - q_{\phi}|}{q_{\phi}} 100\% \quad (4.24)$$

де $q_{1\%}$ – значення, отримані в результаті перевірних розрахунків за методикою;

$q_{1\% \text{ф}}$ – фактичні значення, отримані за вихідними даними.

Порівняння фактичних та розрахункових модулів представлено на рис.4.7

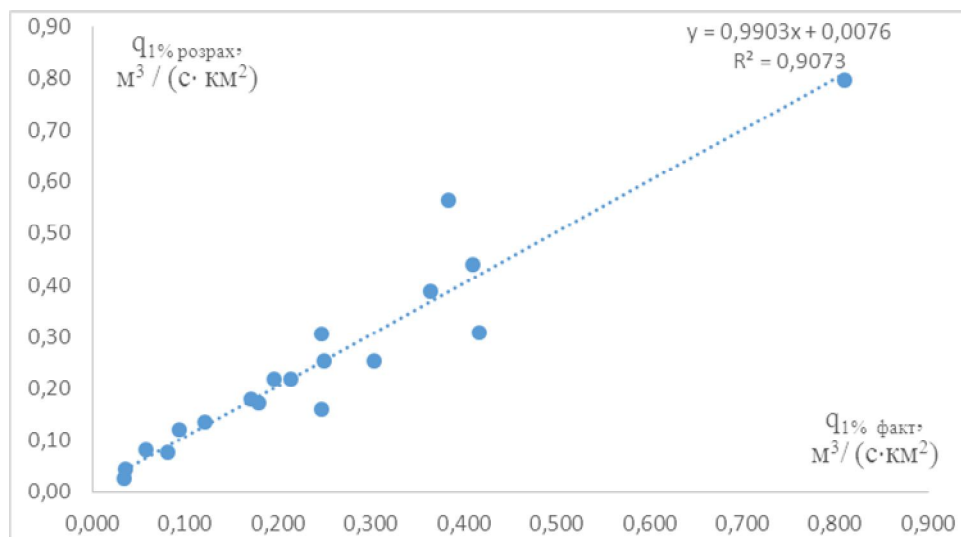


Рисунок 4.7 - Порівняння розрахункових та фактичних 1%-их максимальних модулів схилового стоку весняного водопілля в басейні р. Десни

По таблиці перевірочних розрахунків значення максимальних модулів схилового стоку, знятих з карти ізоліній в середньому дорівнюють $|\Delta \bar{q}| = 16,5 \%$, (дод. Ж. 1.) при якості вихідних даних 17,2 % (дод. Д. 1.).

Побудовану карту можна рекомендувати для визначення максимальних модулів схилового стоку весняного водопілля для річок басейну р. Десна, на яких не велись гідрометричні спостереження.

4.6 Оцінка впливу водойм руслового типу (проточні озера і водосховища)

Для оцінки ступеня зниження максимального стоку весняного водопілля на річках зарегульованих водоймами проточного типу в басейні річки Десни рекомендується користуватися формулою СНіП 2.01.14 – 83

$$\delta = 1 / (1 + C f_{\text{оз}}'), \quad (4.25)$$

де δ - коефіцієнт зниження максимальних витрат води весняного водопілля;

C – коефіцієнт, який приймається в залежності від середнього шару стоку по таблиці;

$f_{\text{оз}}'$ - середньозважена озерність (в %)

$$f_{\text{оз}}' = \sum_{i=1}^n (100 S_i f_i F^2); \quad (4.26)$$

F – площі водозборів у розрахункових створах, км²;

f_i – площа водозборів озер, водосховищ км²;

За відсутності площі водозборів озер і водосховищ припускається $f_{оз}$ визначати за формулою

$$f_{оз} = (f_{оз} - 2)/28, \quad (4.27)$$

де $f_{оз}$ – відносна озерність

$$f_{оз} = [\sum_{i=0}^n (S_i * 100)] / F \quad (4.28)$$

Якщо річка і її притоки витікають з водойм, водозбори яких займають значну частину ($f_{оз} > 50\%$) площі водозбору річки, то $f_{оз}$ обчислюється за формулою

$$f_{оз} = (f_{оз} - 2) / 0,92 \quad (4.29)$$

Коефіцієнти δ зарегульованих водосховищами визначається з урахуванням проекних матеріалів і експлуатаційних даних.

Вплив ставок, регулюючих максимальний стік, при розрахунку максимальних витрат води ймовірністю $P < 5\%$ не враховується, а при $P > 5\%$ припускається зменшення розрахункових витрат води до 10% .

Розрахункова формула максимального стоку весняного водопілля забезпеченістю $P = 1, 3, 5, 10\%$. Базові величини коефіцієнта $\lambda_{P\%}$ представляють собою відношення :

$$\lambda_{1\%} = \frac{Q_{1\%}}{Q_{1\%}}; \quad \lambda_{3\%} = \frac{Q_{3\%}}{Q_{1\%}}; \quad \lambda_{5\%} = \frac{Q_{5\%}}{Q_{1\%}}; \quad \lambda_{10\%} = \frac{Q_{10\%}}{Q_{1\%}} \quad (4.30)$$

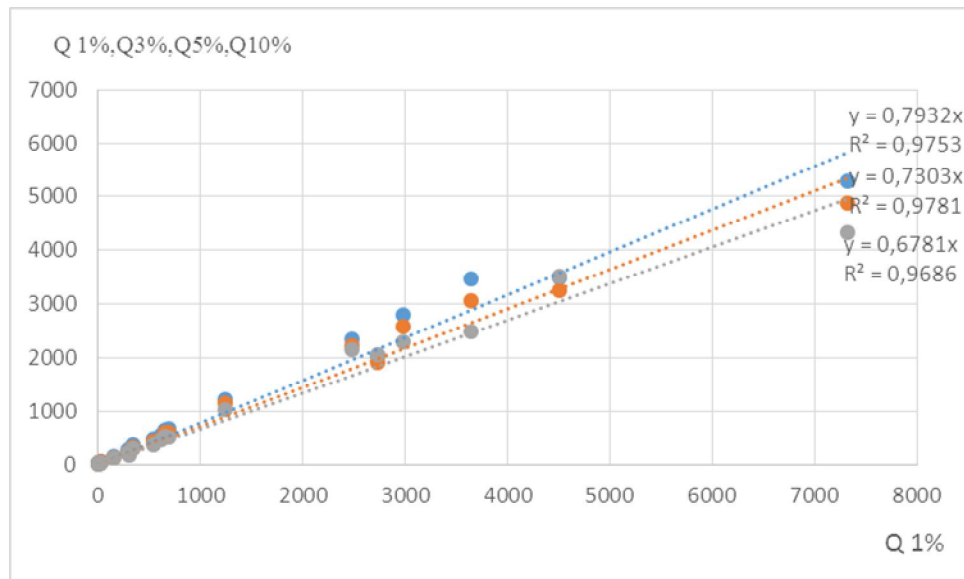


Рисунок 4.8 – Залежність коефіцієнтів впливу водойм на максимальний стік весняного водопілля різної забезпеченості в басейні р. Десна

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти впливу водойм на максимальний стік весняного водопілля в басейні р. Десни

Р %	1.0	3.0	5.0	10
λ_{PQ_0}	1,00	0,79	0,73	0,68

Відповідно рекомендаціям СНіП 2.01.14 – 83, при озерності $P > 5\%$ припускається зменшення розрахункового значення максимальних витрат води весняного водопілля до 15 %. За умови $P < 5\%$ він не враховується.

Для удосконалення геометричної моделі формування водопіль та удосконалення розрахункової бази, були також використані власні праці [21,22].

ВИСНОВКИ

За результатами магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

1. За географічним положенням Десна впадає в Дніпро біля Києва, долаючи шлях до гирла по території Чернігівської і Київської областей і є найдовшою лівою притока Дніпра.

2. Гідрологічний режим річки Десна має мішаний характер: снігового, дощового та ґрунтового живлення, яке змінюється в різні за водністю роки. Початок водопілля на річці припадає до першої декади березня а закінчується в третій декаді травня. Тривалість водопілля складає майже 3 місяці. Пік повені зазвичай спостерігається в середині квітня.

3. Клімат на даній території помірно континентальний – з теплим літом і помірно холодною зимою.

4. Результати статистичної обробки часових рядів максимальних витрат води весняного водопілля наведені в (дод. Б.1.). Коефіцієнти варіації C_v , розраховані з використанням методу моментів в рядах максимальних витрат води весняного водопілля. Коливаються вони від 0,41 (р. Десна – с. Літки) до 1,05 (р. Сейм – с. Гущине); а при застосуванні методу найбільшої правдоподібності – відповідно по рядах – 0,42 (р. Десна – с. Літки) до 1,11 (р. Сейм – с. Мутин).

5. Основним розрахунковим параметром запропонованої методики є максимальний модуль схилового припливу q'_m . Розраховані модулі схилового припливу $q'_{1\%}$ для басейну р. Десна коливаються в широкому діапазоні - від 0,03 (лог Райчик – с. Польова Лукашівка та р. Сейм – с. Мутин) до 0,39 (р. Сейм – с. Гущине), $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$.

6. Максимальні модулі схилового припливу весняних водопіль і дощових паводків річок мають одномодальну структуру гідрографів. Максимальні модулі схилового припливу в цілому збільшуються в напрямку з півночі на південний схід від $0,25 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ до $2,5 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$.

7. Порівняння розрахункових максимальних витрат води заданої забезпеченості ($P=1\%$) показує задовільну збіжність як з вихідною інформацією, так й з найбільшими за період спостережень максимальними витратами води. Точність розрахунку по запропонованій методиці знаходиться на рівні $16,5 \%$ при точності вихідної інформації $17,2 \%$, що дозволяє рекомендувати методику, розроблену для басейну р. Десна – для практичного застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 6. Украина и Молдавия. Выпуск 4. Крым. Ленинград: ГМИ, 1966. 344 с
2. Атлас України / кер. Проекту Руденко Л.Г., Чабанюк В.С., Бочковська А.І. / Інститут географії Національної академії наук України і Товариство з обмеженою відповідальністю «Інтелектуальні системи ГЕО», Інтелектуальні Системи ГЕО, 1999–2000. URL: <http://www.isgeo.kiev.ua> .
3. Ландшфти України <http://geomap.land.kiev.ua/landscape.html>
4. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно - гідрологічний аналіз) – Київ : Ніка-Центр, 2010. 316 с.
5. Клімат України / 3 а ред. В. М. Ліпінського, В. М. Бабіченко, В. А. Дячука. – Київ: Вид-но Раєвського, 2003.343 с.
6. Savenije, H. H. G. (2010). “Topography driven conceptual modelling (FLEX-Topo)”. Hydrology and Earth System Sciences, 14(12), 2681– 2692. <https://doi.org/10.5194/hess-14-2681-2010>.
7. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України, Київ: Ника-центр. 2003. 324 с.
8. Збірник методичних вказівок до практичних занять з дисципліни «Гідрологічні розрахунки». проф. Лобода Н. С. Одеса, ОДЕКУ, 2005. 56с.
9. Dawdy D R. and Lichty R.W. Methodology of hydrologic model building. Int. Assoc. Sci. Hydrol., Publ. 81,1968.
10. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
11. Linsley, R.K., Kohler, M.A., Paulus, D. L. Applied Hydrology / L .: Gidrometeoizdat, 1962. 758 p.
12. Andréassian, V., Le Moine, N., Perrin, C., Ramos, M. H., Oudin, L.,

Mathevet, T., Lerat, J., & Berthet, L. (2012). The case of calibrating hydrological models. *Hydrological Processes*, 26(14), 2206-2210. <https://doi.org/10.1002/hyp.9264>.

13. Beven, K. (1989). Changing ideas in hydrology—The case of physically based models. *Journal of Hydrology*, 105 (1-2), 157– 172. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(89\)90101-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90101-7)

14. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Об основных: положениях.: методики расчета максимального стока / М., 1981. 254 с

15. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 423 с.

16. Великанов В.А. Гидрология суши / Ленинград: Гидрометеиздат, 1948. 526 с.

17. Гопченко Е.Д. О редукционных формулах максимального стока // Тр.УкрНИГМИ, 1980. Вып.175. С.85-93.

18. Apir, Sayama, T., Tachikawa, Y., & Takara, K. (2012). Spatial lumping of a distributed rainfall-sediment-runoff model and its effective lumping scale. *Hydrological Processes*, 26 (6), 855– 871. <https://doi.org/10.1002/hyp.8300>

19. Willems, P., Mora, D., Vansteenkiste, T., Taye, M. T., & Van Steenbergen, N. (2014). Parsimonious rainfall-runoff model construction supported by time series processing and validation of hydrological extremes. *Journal of Hydrology*, 510, 591– 609. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.028>

20. Гопченко Е.Д. Обоснование параметров редукционной формулы для расчета максимального стока рек // Водные ресурсы. 1976. № 4. С. 34 -40.

21. Стасюк Л. В. Геометрична модель розрахункової формули максимального стоку весняних водопіль в басейні річки Десна// Матеріали Всеукраїнської науково – практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Гідрометеорологія» КНУ Київ – 2018. с. 49 -52.

22. Стасюк Л.В., Мирза К.Л. Обґрунтування розрахункової тривалості схилового припливу весняного водопілля і дощових паводків // Матеріали конференції молодих вчених ОДЕКУ 7-8 травня 2018р. (до друку).

ДОДАТКИ

Додаток А.1 – Основні гідрографічні характеристики водозбору

№ з/п	Річка - пост	F , км ²	$H_{\text{ср}}$, м	φ , пн. ш.	f_d , %	f_z , %	f_{oz} , %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	р. Десна-с.Олександрівка	1710	220	52,25	16	1	2
2	р. Десна-с.Голубея	4770	210	52,60	27	1	2
3	р. Десна-м.Брянськ	13700	190	53,26	40	1	1
4	р. Десна-с.Розльоти	36300	190	53,2	30	2	2
5	р.Десна-с.Вишеньки	37600	-	52,2	-	-	-
6	р. Десна-м.Чернігів	81400	-	52,79	-	-	-
7	р. Десна-с.Літки	88500	-	52,7	-	-	-
8	р. Ветьма-с.Круча	1370	200	51,1	61	2	3
9	р. Снежесть-м.Карачев	282	220	53,49	5	5	6
10	р. Навля-сmt Навля	1560	210	53,50	15	3	5
11	р. Неруса-с.Радогощ	1020	220	52,11	23	1	6
12	р. Соля-с.Мальцево	39,4	180	51,75	96	3	1
13	р. Івотка-с.Івот	1260	190	51,94	30	6	6
14	р. Головесня-с.Покошичі	29,5	180	51,78	13	1	8
15	р. Сейм-с.Гущине	375	230	53,26	2	0	7
16	р. Сейм-с.Мутин	25600	210	52,2	6	3	-
17	р. Тускар-с.Свобода	1690	230	51,75	4	1	8
18	лог Мересьє- х.Олексіївський	9,50	220	51,90	8	0	6
19	лог Райчик-с.Польова Лукашівка	6,20	220	52,3	15	0	6

**Додаток Б.1 – Статистичні параметри часових рядів максимальних витрат
води весняного водопілля в басейні річки Десна**

№ з/ п	Річка - пост	F, км ²	n, років	$\bar{Q}_{\text{ср}}$ м ³ /с	Метод моментів				Метод найбіл. правдоподіб.		
					C _v	C _s	r(1)	C _s / C _v	C _v	C _s	C _s / C _v
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11
1	р. Десна-с.Олександрівка	1710	46	217	0,64	0,97	0,14	1,5	0,64	1,06	1,6
2	р. Десна-с.Голубея	4770	86	431	0,58	0,79	0,17	1,4	0,58	0,81	1,4
3	р. Десна-м.Брянськ	13700	87	965	0,65	1,02	0,05	1,6	0,65	1,07	1,6
4	р. Десна-с.Розльоти	36300	62	862	0,66	2,14	0,18	3,2	0,67	2,59	3,9
5	р.Десна-с.Вишеньки	37600	33	1479	0,63	1,41	0,06	2,2	0,64	1,71	2,7
6	р. Десна-м.Чернігів	81400	127	1824	0,87	2,27	0,12	2,6	0,87	2,53	2,9
7	р. Десна-с.Літки	88500	38	994	0,41	1,41	0,30	3,4	0,42	1,74	4,2
8	р. Ветьма-с.Круча	1370	39	104	0,70	1,52	0,09	2,2	0,70	1,83	2,6
9	р. Снежесть-м.Карачев	282	38	48,0	0,52	1,45	0,01	2,8	0,52	1,73	3,3
10	р. Навля-сmt Навля	1560	37	150	0,64	2,05	0,27	3,2	0,67	2,82	4,2
11	р. Неруса-с.Радогощ	1020	25	116	0,77	2,73	0,28	3,5	1,03	4,87	4,7
12	р. Соля-с.Мальцево	39,4	34	1,6	0,81	2,43	0,08	3,0	0,85	3,54	4,2
13	р. Івотка-с.Івот	1260	52	72,6	0,61	0,51	0,21	0,8	0,62	0,55	0,9
14	р. Головесня-с.Покошичі	29,5	78	8,0	0,94	2,14	0,20	2,3	0,96	2,55	2,7
15	р. Сейм-с.Гущине	375	23	58,7	1,05	1,39	0,36	1,3	1,11	1,92	1,7
16	р. Сейм-с.Мутин	25600	85	835	0,90	1,65	0,34	1,8	0,91	1,86	2,0
17	р. Тускар-с.Свобода	1690	27	178	0,78	1,83	0,39	2,3	0,81	2,66	3,3
18	лог Мересьє-х.Олексіївський	9,50	27	2,79	0,71	1,00	0,33	1,4	0,73	1,22	1,7
19	лог Райчик-с.Польова Лукашівка	6,20	27	2,08	0,70	0,70	0,29	1,0	0,72	0,81	1,1

Додаток В.1 – Статистичні характеристики часових рядів шарів стоку
весняного водопілля в басейні річки Десни

№ з/п	Річка – пост	F, км ²	n, років	Y _{ср} , мм	Метод моментів				Метод найбіл. правдоподіб.		
					Cv	Cs	r(1)	Cs/Cv	Cv	Cs	Cs/Cv
1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	12
1	р.Десна-с.Олександрівка	1710	38	108	0,38	0,90	0,09	2,4	0,38	0,99	2,6
2	р. Десна-с.Голубея	4770	43	102	0,39	0,53	0,18	1,4	0,38	0,56	1,5
3	р. Десна-м.Брянськ	13700	82	96	0,38	0,94	0,09	2,5	0,38	0,98	2,6
4	р. Десна-с.Розльоти	36300	62	81	0,31	0,99	0,12	3,2	0,30	1,04	3,5
5	р. Десна-с.Вишеньки	37600	33	99	0,30	0,34	0,15	1,1	0,30	0,38	1,2
6	р. Десна-м.Чернігів	81400	127	77	0,39	1,28	0,12	3,3	0,38	1,33	3,5
7	р. Десна-с.Літки	88500	38	66	0,29	0,12	0,29	0,4	0,29	0,18	0,6
8	р. Снежесь-м.Карачев	282	33	103	0,47	1,20	0,32	2,6	0,48	1,47	3,1
9	р. Навля-сmt Навля	1560	32	78	0,46	1,19	0,30	2,6	0,48	1,47	3,1
10	р. Неруса-с.Радогощ	1020	20	71	0,60	1,75	0,40	2,9	0,65	2,76	4,2
11	р. Соля-с.Мальцево	39,4	34	39	0,64	1,65	0,21	2,6	0,68	2,17	3,2
12	р. Івотка-с.Івот	1260	52	52	0,43	1,12	0,08	2,6	0,43	1,22	2,9
13	р. Головесня-с.Покошичі	29,5	78	61	0,62	1,40	0,27	2,3	0,62	1,55	2,5
14	р. Сейм-с.Гущине	375	19	43	0,74	0,95	0,25	1,3	0,78	1,24	1,6
15	р. Сейм-с.Мути́н	25600	85	71	0,53	1,46	0,33	2,7	0,54	1,62	3,0
16	р. Тускар-с.Свобода	1690	22	66	0,58	1,54	0,29	2,7	0,62	2,25	3,6
17	р. Снова-с.Щурово	781	33	71	0,54	2,01	0,12	3,7	0,56	2,75	4,9
18	лог Мересьє- х.Олексіївський	9,50	22	43	0,89	1,19	0,17	1,3	0,94	1,59	1,7
19	лог Райчик-с.Польова Лукашівка	6,20	22	52	0,76	1,21	0,19	1,6	0,79	1,62	2,0

Додаток Г. 1 – Максимальні витрати води весняного водопілля в басейні
р. Десни різної забезпеченості ($P=1,3,5,10\%$) при $C_s=2,5C_v$

№ з/п	Річка - пост	 Q_{max} m^3/c	C_v	Q 1 %	Q 3%	Q 5%	Q 10%
1	2	3	4	5	6	7	8
1	р. Десна-с.Олександрівка	217	0,64	662	627	579	514
2	р. Десна-с.Голубея	431	0,58	1246	1211	1151	1021
3	р. Десна-м.Брянськ	965	0,65	2982	2789	2577	2287
4	р. Десна-с.Розльоти	862	0,67	2733	2034	1896	2043
5	р. Десна-с.Вишеньки	1479	0,64	4511	3490	3254	3505
6	р. Десна-м.Чернігів	1824	0,87	7332	5271	4870	4323
7	р. Десна-с.Літки	994	0,42	2485	2346	2217	2143
8	р. Снежесь-м.Карачев	104	0,7	342	342	311	268
9	р. Навля-снт Навля	48	0,52	158	144	124	124
10	р. Неруса-с.Радогощ	150	0,67	621	546	475,5	445
11	р. Соля-с.Мальцево	116	1,03	550	480	422	344
12	р. Івотка-с.Івот	1,6	0,85	6,29	5,26	4,8	4,12
13	р. Головесня-с.Покошичі	72,6	0,62	301	264	216	215
14	р. Сейм-с.Гущине	8	0,96	36,59	35,4	31,7	25,2
15	р. Сейм-с.Мути	58,7	1,11	312	218	195	163
16	р. Тускар-с.Свобода	835	0,91	3649	3459	3039	2478
17	р. Снова-с.Щурово	178	0,81	698	660	591	494
18	лог Мересьє-х.Олексіївський	2,79	0,73	15,2	12,8	9,9	9,74
19	лог Райчик-с.Польова Лукашівка	2,08	0,70	9,5	8,2	7,3	6,55

Додаток Д.1 – Середньоквадратичні похибки максимальних витрат води
весняного водопілля $\sigma Q_{1\%}$ (при співвідношенні $C_s / C_v = 3.0$)

№ з/п	Річка- пост	$Q_{1\%}$	n, років	$E\sigma$	$\sigma Q_{1\%}$
1	2	3	4	5	6
1	р.Десна-с.Олександрівка	662	46	0,86	12,7
2	р. Десна-с.Голубея	1211	86	1,02	11,0
3	р. Десна-м.Брянськ	2982	87	1,01	10,8
4	р. Десна-с.Розльоти	2733	62	1,0	13,0
5	р. Десна-с.Вишеньки	4511	33	1,3	23,0
6	р. Десна-м.Чернігів	7332	127	1,21	10,7
7	р. Десна-с.Літки	2217	38	1,3	21,1
8	р. Снежесь-м.Карачев	342	39	1,17	18,7
9	р. Навля-с.мт Навля	124	38	0,85	13,8
10	р. Неруса-с.Радогощ	476	37	1,0	16,6
11	р. Соля-с.Мальцево	550	25	1,22	24,4
12	р. Івотка-с.Івот	6,29	34	1,0	17,5
13	р. Головесня-с.Покошичі	216	52	0,98	13,6
14	р. Сейм-с.Гущине	35,36	78	1,3	14,7
15	р. Сейм-с.Мутин	312	23	1,5	30,7
16	р. Тускар-с.Свобода	3649	85	1,24	13,4
17	р. Снова-с.Щурово	698	27	1,0	19,8
18	лог Мересьє-х.Олексіївський	9,9	27	1,02	19,6
19	лог Райчик-с.Польова Лукашівка	7,3	27	1,16	22,3
Середнє значення					17,2

Додаток Е.1 – Вихідні дані для визначення степеневого показника n_1 в залежності $\lg q_{1\%} = f \lg(F+1)$

№ з/п	Річка-пост	F км ²	$q_{1\%}, \text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$	$\lg q_{1\%}$	$\lg (F+1)$
1	2	3	4	5	6
1	р.Десна-с.Олександрівка	1710	0,39	-0,41	3,23
2	р. Десна-с.Голубея	4770	0,25	-0,60	3,68
3	р. Десна-м.Брянськ	13700	0,22	-0,66	4,14
4	р. Десна-с.Розльоти	36300	0,08	-1,12	4,56
5	р. Десна-с.Вишеньки	37600	0,12	-0,92	4,58
6	р. Десна-м.Чернігів	81400	0,08	-1,10	4,91
7	р. Десна-с.Літки	88500	0,03	-1,60	4,95
8	р.Ветьма-с.Круча	1370	0,25	-0,60	3,14
9	р. Снежесть-м.Карачев	282	0,44	-0,36	2,45
10	р. Навля-сmt Навля	1560	0,30	-0,52	3,19
11	р. Неруса-с.Радогощ	1020	0,22	-0,66	3,01
12	р.Соля-с.Мальцево	39,4	0,16	-0,80	1,61
13	р. Івотка-с.Івот	1260	0,17	-0,77	3,10
14	р. Головесня-с.Покошичі	29,5	0,31	-0,51	1,48
15	р. Сейм-с.Гущине	375	0,80	-0,10	2,58
16	р. Сейм-с.Мутин	25600	0,04	-1,38	4,41
17	р. Тускар-с.Свобода	1690	0,13	-0,87	3,23
18	лог Мересьє-х.Олексіївський	9,5	0,56	-0,25	1,02
19	лог Райчик-с.Польова Лукашівка	6,2	0,18	-0,75	0,86

Додаток Є.1 – Максимальні модулі схилового припливу забезпеченістю
 $P=1\%$ в басейні р. Десна ($n_1 = 0,19$)

№ з/п	Річка - пост	F км ²	q 1% м ³ /(с·км ²)	lg q 1%	lg (F+1) ^{0,19}	q'1% м ³ /(с·км ²)
1	2	3	4	5	6	7
1	р.Десна-с.Олександрівка	1710	0,39	-0,41	0,61	0,24
2	р. Десна-с.Голубея	4770	0,25	-0,60	0,69	0,18
3	р. Десна-м.Брянськ	13700	0,22	-0,66	0,78	0,17
4	р. Десна-с.Розльоти	36300	0,08	-1,12	0,87	0,07
5	р. Десна-с.Вишеньки	37600	0,12	-0,92	0,86	0,10
6	р. Десна-м.Чернігів	81400	0,08	-1,10	0,93	0,07
7	р. Десна-с.Літки	88500	0,03	-1,60	0,94	0,02
8	р.Ветьма-с.Круча	1370	0,25	-0,60	0,59	0,15
9	р. Снежесь-м.Карачев	282	0,44	-0,36	0,46	0,20
10	р. Навля-сmt Навля	1560	0,30	-0,52	0,61	0,19
11	р. Неруса-с.Радогощ	1020	0,22	-0,66	0,57	0,12
12	р.Соля-с.Мальцево	39,4	0,16	-0,80	0,3	0,05
13	р. Івотка-с.Івот	1260	0,17	-0,77	0,59	0,10
14	р. Головесня-с.Покошичі	29,5	0,31	-0,51	0,28	0,09
15	р. Сейм-с.Гущине	375	0,80	-0,10	0,49	0,39
16	р. Сейм-с.Мутин	25600	0,04	-1,38	0,83	0,03
17	р. Тускар-с.Свобода	1690	0,13	-0,87	0,61	0,08
18	лог Мересьє-х.Олексіївський	9,5	0,56	-0,25	0,19	0,11
19	лог Райчик-с.Польова Лукашівка	6,2	0,18	-0,75	0,16	0,03

Додаток Ж.1 – Перевірочні розрахунки за формулою (4.24)

№ з/п	Річка –пост	F, км ²	Q ^{1%} м ³ /(с·км ²)	Q ^{'1%} розр м ³ /(с·км ²)	Q ^{1%} факт м ³ /(с·км ²)	Δ , %
1	2	3	4	5	7	8
1	р.Десна-с.Олександрівка	1710	1,5	0,36	0,39	5,81
2	р. Десна-с.Голубея	4770	1,25	0,25	0,25	1,53
3	р. Десна-м.Брянськ	13700	1,2	0,20	0,22	9,75
4	р. Десна-с.Розльоти	36300	0,6	0,08	0,08	8,42
5	р. Десна-с.Вишеньки	37600	0,7	0,09	0,12	21,16
6	р. Десна-м.Чернігів	81400	0,5	0,06	0,08	27,28
7	р. Десна-с.Літки	88500	0,3	0,03	0,03	37,55
8	р.Ветьма-с.Круча	1370	1,2	0,30	0,25	20,33
9	р. Снежесть-м.Карачев	282	1,2	0,41	0,44	6,52
10	р. Навля-сmt Навля	1560	1,0	0,25	0,30	18,86
11	р. Неруса-с.Радогощ	1020	0,8	0,21	0,22	1,78
12	р.Соля-с.Мальцево	39,4	0,5	0,25	0,16	55,15
13	р. Івотка-с.Івот	1260	0,7	0,18	0,17	5,35
14	р. Головесня-с.Покошичі	29,5	0,8	0,42	0,31	36,37
15	р. Сейм-с.Гущине	375	2,5	0,81	0,80	1,70
16	р. Сейм-с.Мутин	25600	0,25	0,04	0,04	12,28
17	р. Тускар-с.Свобода	1690	0,5	0,12	0,13	8,95
18	лог Мересьє-х.Олексіївський	9,5	0,6	0,38	0,56	31,93
19	лог Райчик-с.Польова Лукашівка	6,2	0,25	0,17	0,18	3,69
Середнє значення						16,5