

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
З ДИСЦИПЛІНИ

**“СУЧАСНІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ В ГІДРОЛОГІЧНИХ
РОЗРАХУНКАХ І ПРОГНОЗАХ”**

для магістрів I курсу факультету МАП
денної і заочної форм навчання
Спеціальність - 8.04010503“Гідрологія”

Узгоджено
на факультеті магістерської та
аспірантської підготовки

Одеса – 2014

Збірник методичних вказівок до практичних занять з дисципліни “Сучасні математичні моделі в гідрологічних розрахунках і прогнозах” для магістрів денної і заочної форм навчання за спеціальністю “Гідрологія” / Укладачі: Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р., Овчарук В.А. – Одеса, ОДЕКУ, 2014. – 89 с., укр.мова.

ЗМІСТ

	Загальні положення	5
	Практичне завдання 1	11
1	Розробка спрощеної структури і параметрів формули швидкості руслового добігання	11
	1.1 Теоретичні положення.....	11
	1.2 Порядок виконання практичного завдання.....	14
	1.2.1 Визначення степеневих показників α та β	14
	1.2.2 Визначення швидкісного коефіцієнта α	19
	1.2.3 Спрощення структури формули швидкості руслового добігання повнених (паводкових) хвиль.....	23
	Контрольні запитання до практичного завдання 1.....	24
	Перелік літератури до практичного завдання 1.....	25
	Практичне завдання 2	26
2	Математичні моделі короткострокових прогнозів гідрографа дощового та тало-дощового стоку річок	26
	2.1 Математична модель Гідрометцентру СРСР для прогнозу гідрографа талого стоку весняного водопілля рівнинних річок.....	26
	2.1.1 Визначення складових блок-схеми математичної моделі.....	27
	2.1.2 Визначення параметрів та констант моделі.....	31
	2.2 Математична модель В.І.Кореня і В.О.Бельчикова для прогнозу гідрографа дощового та тало-дощового стоку весняного водопілля рівнинних річок.....	33
	2.2.1 Визначення складових блок-схеми математичної моделі.....	34
	2.2.2 Визначення параметрів та констант моделі.....	40
	2.3 Математична модель для прогнозу гідрографа весняного водопілля гірських річок (модель САРНДГМІ, автор Ю.М. Денисов).....	41
	2.3.1 Визначення складових блок-схеми математичної моделі.....	42
	2.3.2 Визначення параметрів та констант моделі.....	47
	Контрольні запитання до практичного завдання 2.....	49
	Перелік літератури до практичного завдання 2.....	50
	Практичне завдання 3	51
3	Реалізація моделі довгострокових територіальних прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля при використанні комп'ютерного комплексу „Прип'ять”	51
	3.1 Теоретичні положення.....	51
	3.2 Порядок розрахунків за програмним комп'ютерним комплексом «Прип'ять».....	61
	3.2.1 Організація комп'ютерної бази вихідних даних.....	63

3.2.2	Схема складання прогнозу максимальних витрат води.....	69
3.2.3	Побудова на комп'ютері карт очікуваних величин та їх забезпеченості.....	78
3.2.4	Оцінка прогнозів гідрологічних величин.....	81
	Контрольні запитання до практичного завдання 3.....	81
	Індивідуальне завдання.....	82
4	Прогнозування строків початку та настання максимальних витрат води водопіль за комп'ютерною програмою „Прип'ять”.....	82
4.1	Загальні положення.....	83
4.2	Схема складання прогнозу дат початку і максимальних витрат води весняного водопілля, встановлення завчасності прогнозу.....	83
4.3	Визначення забезпеченості прогнозних дат у багаторічному розрізі.....	85
4.4	Форма представлення очікуваних дат проходження весняного водопілля.....	87
4.5	Оцінка прогнозів дат.....	87
	Контрольні запитання до індивідуального завдання.....	88
	Перелік літератури до практичного завдання 3 та індивідуального завдання	88

Загальні положення

Метою методичних вказівок є вироблення у магістрів розуміння суті основних методів та моделей гідрологічних розрахунків та прогнозів, одержання ними практичних навичок роботи з використання сучасних математичних моделей гідрологічних розрахунків і прогнозів та оцінки надійності й якості використання цих моделей для будь-яких водозборів.

Задача методичних вказівок – ознайомлення і практичне використання сучасних математичних моделей розрахунків і прогнозів гідрологічних характеристик рівнинних і гірських річок.

Дисципліна «**Сучасні математичні моделі в гідрологічних розрахунках та прогнозах**» - нормативна, циклу природничо-наукової професійної підготовки гідрологів освітньо-кваліфікаційного рівня магістрів за спеціальністю 8.04010503 «Гідрологія» та використовується ними в їх практичній діяльності.

У результаті виконання практичних завдань з дисципліни «Сучасні математичні моделі в гідрологічних розрахунках та прогнозах», магістри повинні:

знати:

- принципи і методичні засади побудування розрахункових схем максимального стоку;
- основні методичні принципи і практичні підходи в сучасних математичних моделях для прогнозування стоку рівнинних та гірських річок;
- сучасні методи математичної статистики та програмування;
- критерії оцінки для можливого використання математичної моделі в різних фізико-географічних умовах та при сучасних змінах гідрометеорологічного режиму;
- основи математичного моделювання, що використовуються за кордоном та в оперативній практиці Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО);

вміти:

- вирішувати питання нормування розрахункових характеристик на основі статистичної обробки гідрометеорологічної інформації;
- виконувати нормування розрахункових стокових характеристик для невивчених в гідрологічному відношенні річок;
- здійснювати нормування та прогнозування гідрологічного режиму водних об'єктів для побудови систем та споруд захисту населення та виробництва;
- обирати ту математичну модель для прогнозу водного режиму річок, яка відповідає меті та наявності вихідних даних;

- використовувати методи аналізу та обробки інформації, необхідної для роботи з математичними моделями для прогнозу характеристик водного режиму річок;
- презентувати результати гідролого-інженерних досліджень у вигляді наукових звітів і презентацій, застосовуючи сучасні картографічні та графічні методи;
- готувати результати гідролого-інженерних досліджень до публікації;
- визначати та описувати параметри, які входять до математичних моделей пристосовано до того чи іншого водозбору;
- адаптувати результати математичної моделі до умов сучасних змін клімату і водного режиму річок;
- здійснювати відповідну методологію дослідження різних видів гідрологічних небезпек для побудови системи захисту від затоплення територій при загрозі виникнення катастрофічних повеней і паводків;
- впроваджувати нові методи і технології в сфері гідрологічної безпеки;
- співставляти різні та обирати для використання математичні гідрологічні моделі, враховуючи рекомендації ВМО;
- основні етапи прогнозування стоку та визначення параметрів в мат моделях, що використовуються в програмах ВМО;

набути компетенцій:

- здатність використовувати методи математичної статистики, системного аналізу, теорії вірогідності, математичного моделювання для рішення задач гідрологічних прогнозів і розрахунків (КСП-09);
- вміння здійснювати просторово-часовий аналіз результатів спостережень за гідрологічними процесами та явищами (КСП- 10);
- навички та методичні підходи до виявлення впливу зональних та азонаньних чинників на характеристики річкового стоку (КСП-12);
- знання нормативної бази в галузі розрахунку характеристик гідрологічного режиму річок для їх використання в гідротехнічному будівництві (КСП - 15);
- знання процесів взаємодії поверхневих і підземних вод (КСП - 17);
- навички інструментального аналізу нових ідей (КІ-1);
- навички розроблення заходів з інструментального супроводу інноваційних методів дослідження (КІ-2);

- володіння навичками використання спеціалізованих програмних засобів (КІ-5);
- використовуючи статистичні методи обробки гідрометеорологічної інформації, вміти вирішувати питання нормування розрахункових характеристик гідрологічного режиму водних об'єктів (КЗН-09).

Практичні й індивідуальні завдання входять складовою частиною у вивчення загального курсу дисципліни «Сучасні математичні моделі в гідрологічних розрахунках та прогнозах» для магістрів денної і заочної форм навчання, захищаються і оцінюються за прийнятою шкалою контрольних модулів.

Програма практичних модулів

Змістовні модулі	Назва змістовного модуля	Назва теми
ЗМ-П1	1.Розробка спрощеної структури і параметрів формули швидкості руслового добігання.	1. Розробка спрощеної структури формули швидкості руслового добігання.
		2. Визначення параметрів формули швидкості руслового добігання.
ЗМ-П2	2.Математичні моделі для прогнозу гідрографа весняного водопілля рівнинних і гірських річок	1.Складання блок-схеми математичної моделі Гідрометцентру для прогнозу гідрографа весняного водопілля рівнинних річок. Опис параметрів моделі.
		2. Складання блок-схеми моделі В.І.Кореня і В.О.Бельчикова. Опис параметрів моделі
		3.Складання блок-схеми математичної моделі для прогнозу гідрографа весняного водопілля гірських річок (модель САРН-ДГМІ, автор Ю.М. Денисов). Опис параметрів моделі.

	<p>3.Реалізація моделі довгострокових територіальних прогнозів максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля на основі використання дискримінантної моделі (розрахунки ведуться на ПЕОМ).</p>	<p>1. Аналіз вихідної гідрометеорологічної інформації та складання бази вихідних даних.</p> <p>2. Складання прогнозу максимальних витрат води та шарів стоку водопілля за моделлю по комп'ютерній програмі „Прип'ять”, інших річок України.</p> <p>3.Визначення забезпеченості прогнозних величин у багаторічному розрізі.</p> <p>4. Побудова на комп'ютері карт очікуваних величин та їх забезпеченості.</p> <p>5. Оцінка прогнозу максимальних витрат води.</p>
--	---	---

**Форма контролю знань та вмінь студентів
з практичних модулів**

1. На практичні заняття принести папку для паперів (у вигляді швидкозшивача), стандартний папір, лінійку, мікрокалькулятор.
2. Отримати на практичних заняттях від викладача вихідні дані та методичні вказівки, ознайомитися із змістом методичних вказівок та порадами викладача.
3. Отримавши дозвіл викладача на виконання завдання, магістр обробляє вихідні дані, виконує необхідні розрахунки, будує необхідні графіки і таблиці, оформлює пояснювальну записку, письмово відповідає на контрольні запитання, що надаються в методичних вказівках.
4. Після закінчення роботи над завданням студент повинен представити пояснювальну записку, оформлені за ДОСТом графічні і розрахункові матеріали, відповісти на запитання, які ставить викладач.
5. При відповіді на запитання викладача магістру потрібно довести викладачу, що він знає і розуміє мету і задачу практичної роботи, знає фізичні і теоретичні основи методу прогнозів, який розглядався в даній роботі, знає принцип складання методики розрахунків і прогнозів. Відповіді та завдання оцінюються певною кількістю балів.

Критерії оцінки знань, умінь і навичок

Максимальна сума балів з ЗМ-П1 – **10 балів** (УО під час захисту практичних завдань №1).

Максимальна сума балів з ЗМ-П2 – **10 балів** (УО під час захисту практичного завдання №2-3).

Загальна кількість балів за практичний модуль складає **20 балів**.

Зміст контрольних завдань для індивідуальної роботи

Розв'язування задач індивідуального домашнього завдання (по окремому практичному змістовному модулю):

«Прогнозування строків початку та настання максимальних витрат води весняних водопіль на рівнинних річках».

Індивідуальне домашнє завдання повинно розкривати наступні практичні задачі.

1. Розглядання методичних основ прогнозування строків початку та настання максимальних витрат води весняних водопіль в територіальному методі довгострокових прогнозів характеристик весняних водопіль.
2. Збір вихідної метеорологічної інформації.
3. Складання прогнозів строків початку та настання максимальних витрат води весняних водопіль в програмному комплексі «Прип'ять».
4. Представлення та оцінка прогнозу дат водопілля.

Форма контролю знань та вмінь студентів з ІЗ

Звіт про виконання ІЗ подається студентом у вигляді текстового документа з титульною сторінкою на аркушах формату А4. Не пізніше ніж за два тижні до семестрового підсумкового контролю звіт подається викладачу, який керував виконанням індивідуального завдання.

Форма звіту – ***розв'язування задач індивідуального домашнього завдання (по окремому практичному змістовному модулю) - ПДЗ.***

Форма контролю знань та вмінь студентів з ІЗ – ***усне опитування - УО.***

Максимальна сума балів за виконане завдання **10 балів**.

Шкала відповідності інтегральних оцінок практичної роботи та індивідуального завдання

За шкалою ECTS	За національною системою	За системою університету (в процентах)
A	5 (відмінно)	90 - 100
B	4 (добре)	82 – 89,9
C	4 (добре)	74 – 81,9
D	3 (задовільно)	64-73,9
E	3 (задовільно)	60-63,9
FX	2 (незадовільно)	35 – 59,9
F	2 (незадовільно)	1 – 34,9

Форма проведення консультацій викладача

Консультації викладачів, відповідальних за дисципліну «Сучасні математичні моделі в гідрологічних розрахунках та прогнозах» проводяться протягом навчального семестру у вигляді співбесід та додаткового роз'яснення матеріалу. Крім того, консультації можна отримати й у дистанційній формі по Інтернету за електронною адресою кафедри гідрології суші ОДЕКУ gidro@ogmi.farlep.odessa.ua.

Електронна бібліотека ОДЕКУ www.library-odeku.16mb.com.

Практичне завдання №1

1. Розробка спрощеної структури і параметрів формули швидкості руслового добігання повеневих та паводкових хвиль

Мета роботи: Обґрунтування оптимальної структури формули швидкості руслового добігання паводкових (повеневих) хвиль та оволодіння практичними навичками визначення параметрів розрахункових рівнянь.

Порядок виконання практичного завдання

Вихідні дані: Виміряні гідравлічні характеристики річок, які містяться у довідкових виданнях «Гідрологічні щорічники».

Завдання: Обґрунтувати розрахункові параметри формул швидкості руслового добігання паводкових (повеневих) хвиль.

Розв'язання:

1.1 Теоретичні положення

Теоретичною основою є класичне рівняння Шезі із річкової гідравліки.

Структура формул швидкості руслового добігання

Швидкість течії або добігання води належить до тих параметрів, які у явному чи прихованому вигляді використовуються майже в усіх методиках з розрахунку та прогнозу паводкового стоку і відносяться до найбільш впливових факторів руслової трансформації гідрографів. Не зважаючи на простоту вимірювання швидкості течії, проблема розрахунку швидкості руслового добігання далека від свого вирішення, що пов'язано з відсутністю відповідної вихідної Інформації.

У гідрологічній літературі є низка пропозицій щодо розрахунку швидкостей руслового добігання, про що свідчить ґрунтовний аналіз, наданий у роботах Р.А.Нежиховського (1970) та А.М.Бефані (1958).

Розглядаючи річки як природні відкриті гідравлічні однорідні потоки, звичайно для опису швидкості руху води використовують формулу Шезі у вигляді:

$$V = \frac{\sqrt{I}}{n_p} h_{сер}^z, \quad (1.1)$$

де V - швидкість течії;

I - уклон русла;

$h_{сер}$ - середня глибина потоку, яка є еквівалентом гідравлічного радіусу R для русел, що мають значну ширину, порівняно з їхньою глибиною;

n_p - коефіцієнт шорсткості.

Значення параметрів n_p і z обчислювались для багатьох категорій водотоків різними авторами. Найбільш докладна шкала значень n_p і z , запропонована М.Ф.Срібним (1959), наведена в табл.1.1.

Метод установлення невідомих величин на основі використання численних гідрометричних даних не є оптимальним, оскільки швидкості течії відрізняються від швидкості добігання, тому що гідрометричні створи установлюються в місцях із сприятливими умовами (прямолінійне русло, відсутність водної рослинності, невелика ширина заплави тощо), що не відображають дійсної різноманітності умов руху води в звивистих руслах, які то звужуються, то розширюються.

Таблиця 1.1 - Значення параметрів n_p і z

Характер русла Параметри	Струмки або річки в звичайних умовах, балки з чистим руслом	Балки, які заросли травою	Русла і заплави, які значно заросли (чагарники, водорості)	Сельові потоки, глухі (суцільно тайгові заплави)
$1/n_p$	25,0	20,0	12,5	5,0
z	0,75	(0,75)	0,83	1,0

За даним методом, швидкість хвилі може бути й значно меншою, ніж швидкість течії в замикаючому створі.

Існує ще один підхід, який припускає одержання даних про швидкість добігання, визначених за тривалістю переміщення відповідних витрат або рівнів води на ділянках рівнинних річок, без заплавних або із слаборозвинутими заплавами.

Одержані швидкості добігання кількісно дорівнюють середнім швидкостям течії води в замикаючих створах на цих ділянках. Як перший крок дослідження, доцільно скласти формулу швидкості течії за даними окремих гідрометричних створів. Саме рівняння Шезі (1.1) дозволяє найбільш повно простежити взаємозв'язок між швидкостями і окремими її гідравлічними чинниками.

Співвідношення між параметрами рівняння (1.1) можна одержати в результаті схематизування і подальшого аналізу поперечних перерізів русел. Наближені до параболічної форми русла описуються рівняннями:

а) за Р. А. Нежиховським (1971):

$$B = b \cdot h_m^{m_3}; \quad (1.2)$$

б) за А. М. Бефані (1958):

$$h_m = A_1 \omega^{r_0}, \quad (1.3)$$

де B – ширина річки;

h_m – максимальна глибина потоку;

ω - площа поперечних перерізів русел;

m_3 і r_0 - параметри, чисельні значення яких залежать від форми поперечних перерізів русел.

Більшість сучасних розробок, тому що не можна установити розрахункову глибину потоку h_m , через великі коливання їх навіть на коротких ділянках, що пов'язано з чередуванням плесів та перекатів, замість глибини потоку включають витрату води Q , яка є руслоформуючим фактором. Тоді

$$V = a \cdot Q^\alpha I^\beta, \quad (1.4)$$

де a - швидкісний коефіцієнт;

α і β - показники, які визначаються формою поперечного перерізу русел.

1.2 Порядок виконання практичного завдання

Визначення параметрів формули швидкості руслового добігання повеневих (паводкових) хвиль

1.2.1 Визначення степеневих показників α та β

Різними авторами були одержані чисельні значення α і β . Зокрема, А.М.Бефані в результаті поєднання рівнянь (1.3) і (1.4) одержав розрахунковий вираз для α та β :

$$\alpha = \frac{r}{r+1}; \quad (1.5)$$

$$\beta = \frac{1}{2(r+1)}, \quad (1.6)$$

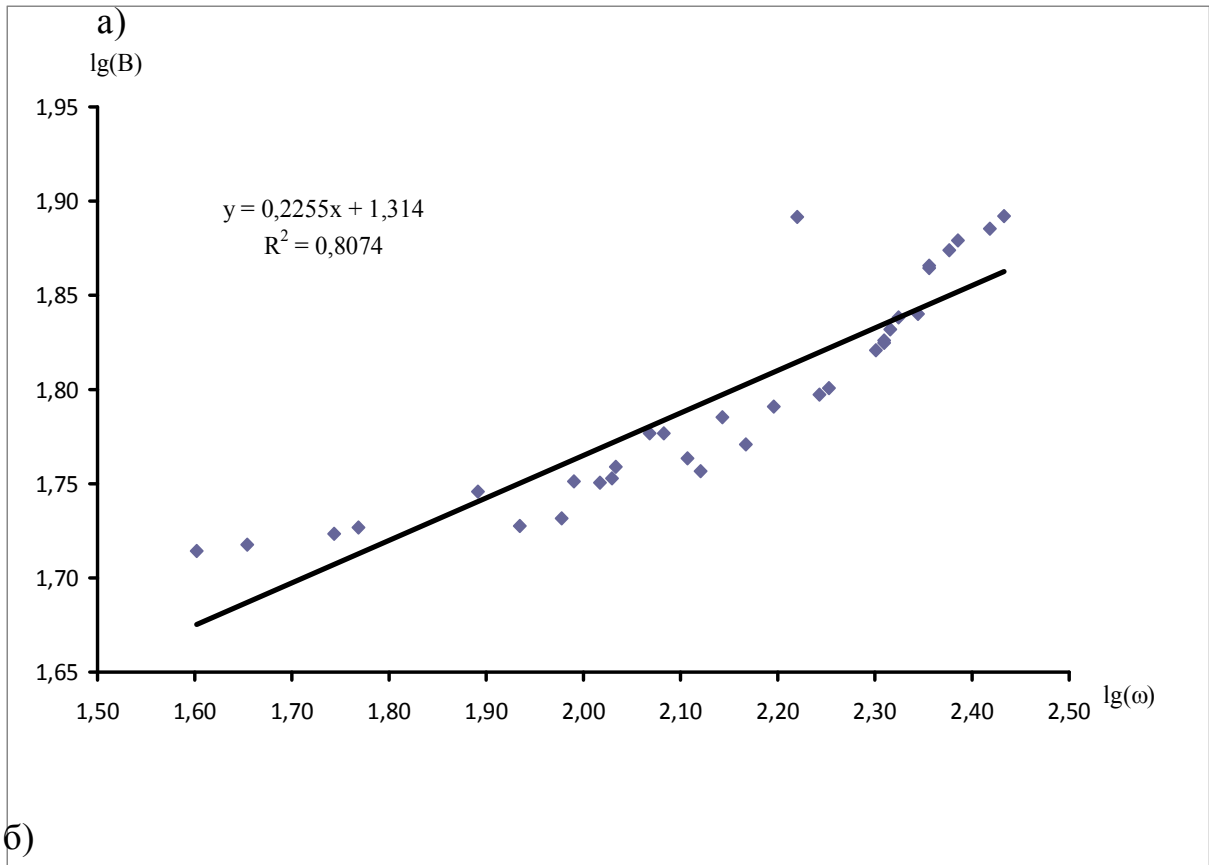
де $r = r_0 z$.

Як видно з табл.1.1, параметр z залежить від типу русел. Для визначення r_0 та m_3 по кожному гідрологічному посту на основі даних табл.1.2 у логарифмічних координатах будуються залежності між площами живих перерізів і найбільшими глибинами та ширинами потоку, відповідно, (рис.1.1, 1.2).

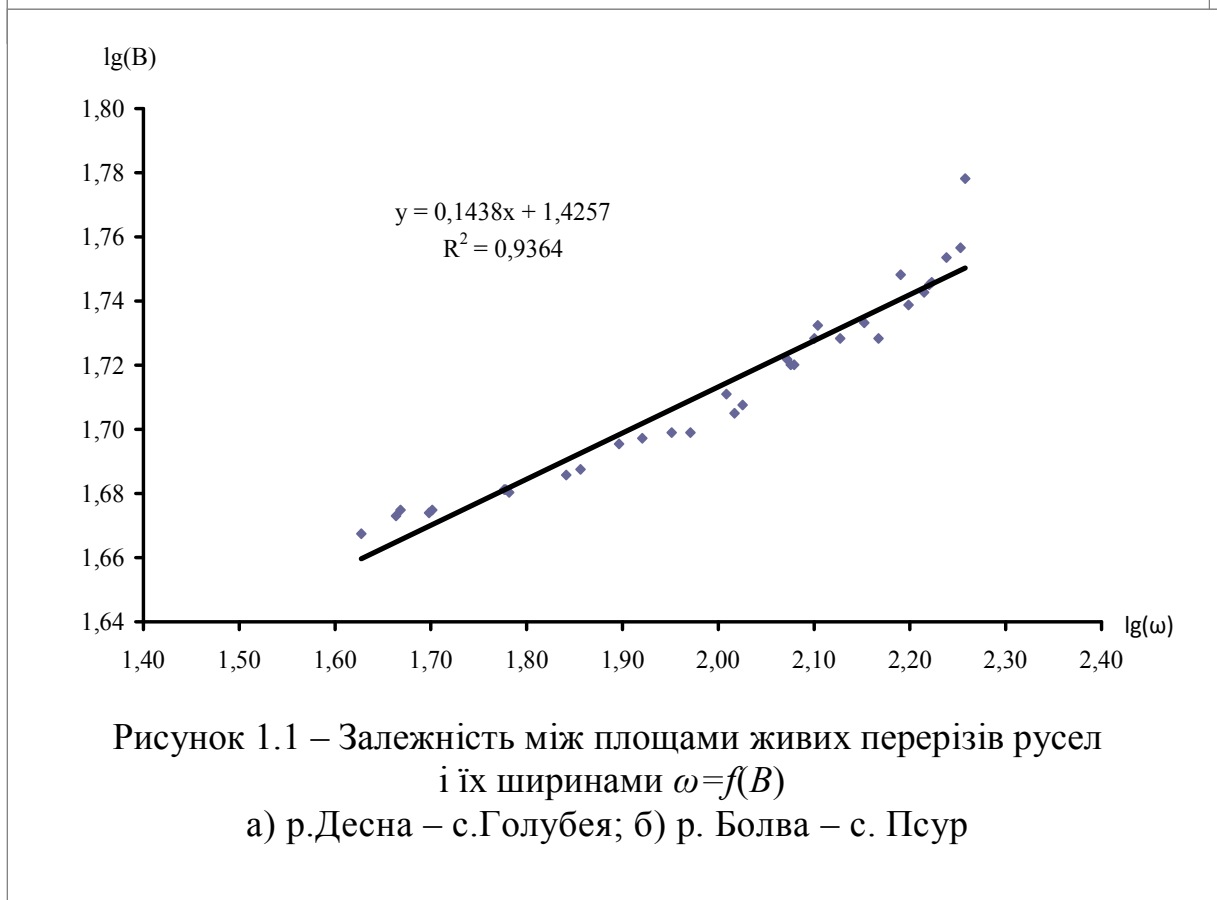
Тангенси кутів нахилу є шукані значення r_0 і m_3 . За розрахункові величини r_0 та m_3 приймаються їх середні по усіх побудованих залежностях значення. Так, наприклад, для території Верхнього Дніпра на основі табл. 1.3 середні значення r_0 та m_3 дорівнюють 0,63 та 0,42, відповідно.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для побудування залежності $\frac{V_{кр}}{Q_{кр}^{0,25}} = f(I_{зв})$

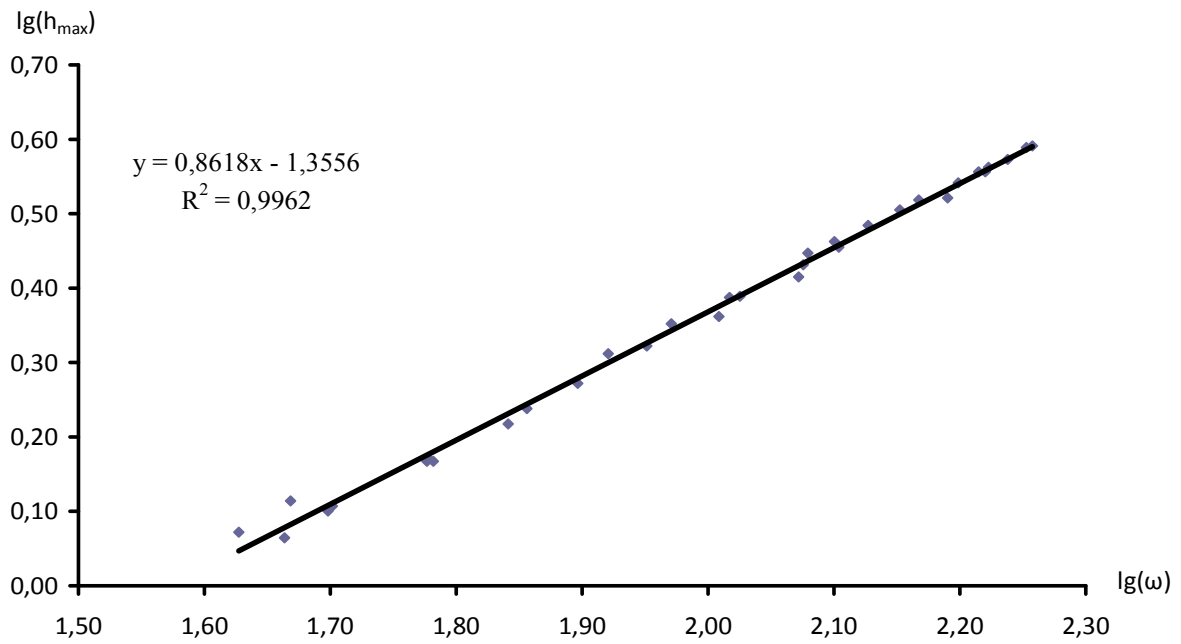
Но- мер з/п	Річка - пост	F , км ²	$\lg(F+1)$	$I_{сер.зв.}$ ‰	$\lg I_{сер.зв.}$	m_3	n_0	$Q_{кр}$, м ³ /с	$V_{кр}$, м/с	$\lg Q_{кр}$	$\lg V_{кр}$	$\frac{V_{кр}}{Q_{кр}^{0,25}}$	$\lg \frac{V_{кр}}{Q_{кр}^{0,25}}$
1	Десна – с. Олександрівка	1710	3,23	0,4	-0,40	0,78	0,21	47,5	0,68	1,68	-0,17	0,26	-0,59
2	Ветьма - с. Круча	1370	3,14	0,5	-0,30	0,74	0,38	30,0	0,38	1,48	-0,42	0,16	-0,79
3	Болва - м. Кіров	2010	3,30	0,6	-0,22	0,2	0,85	120	0,79	2,08	-0,10	0,24	-0,63
4	Болва - с. Псур	3210	3,51	0,4	-0,40	0,23	0,76	260	0,64	2,41	-0,19	0,16	-0,80
5	Снежеть – м. Карачев	282	2,45	1,2	0,08	0,43	0,66	22,0	0,58	1,34	-0,24	0,27	-0,57
6	Нерусса - с. Радогощ	1020	3,01	1,1	0,04	0,32	0,63	19,0	0,64	1,28	-0,19	0,31	-0,52
7	Убідь - с. Кудрівка	970	2,99	0,6	-0,22	0,37	0,76	35,0	0,66	1,54	-0,18	0,27	-0,57
8	Сейм - с. Глушково	8900	3,95	0,2	-0,70	0,23	0,64	100	0,65	2,00	-0,19	0,20	-0,69
9	Рать - с. Беседіно	630	2,80	0,7	-0,15	0,25	0,74	9,00	0,44	0,95	-0,36	0,25	-0,60
10	лог Мересьє - х.Олексіївський	9,50	1,02	9,0	0,65	0,39	0,59	5,00	0,38	0,70	-0,42	0,25	-0,10
11	Свапа - с.Старе Місто	3690	3,57	0,4	-0,40	0,68	0,45	45,0	0,68	1,65	-0,17	0,26	-0,58
12	Остер - с. Кривицьке	2750	3,44	0,2	-0,70	0,59	0,56	60,0	0,80	1,78	-0,10	0,29	-0,54
13	Десна - с. Голубея	4770	3,68	0,2	-0,70	0,17	0,86	45,0	0,86	1,65	-0,07	0,33	-0,48
14	Десна - с. Разльоти	36300	4,56	0,1	-0,55	0,56	0,70	190	0,60	2,40	-0,10	0,16	-0,95
15	Івотка - с. Івот	1260	3,10	0,8	-0,10	0,35	0,59	20,0	0,68	1,30	-0,17	0,32	-0,49
					Σ	6,29	9,38						
					сер.	0,42	0,63						



б)



а)



б)

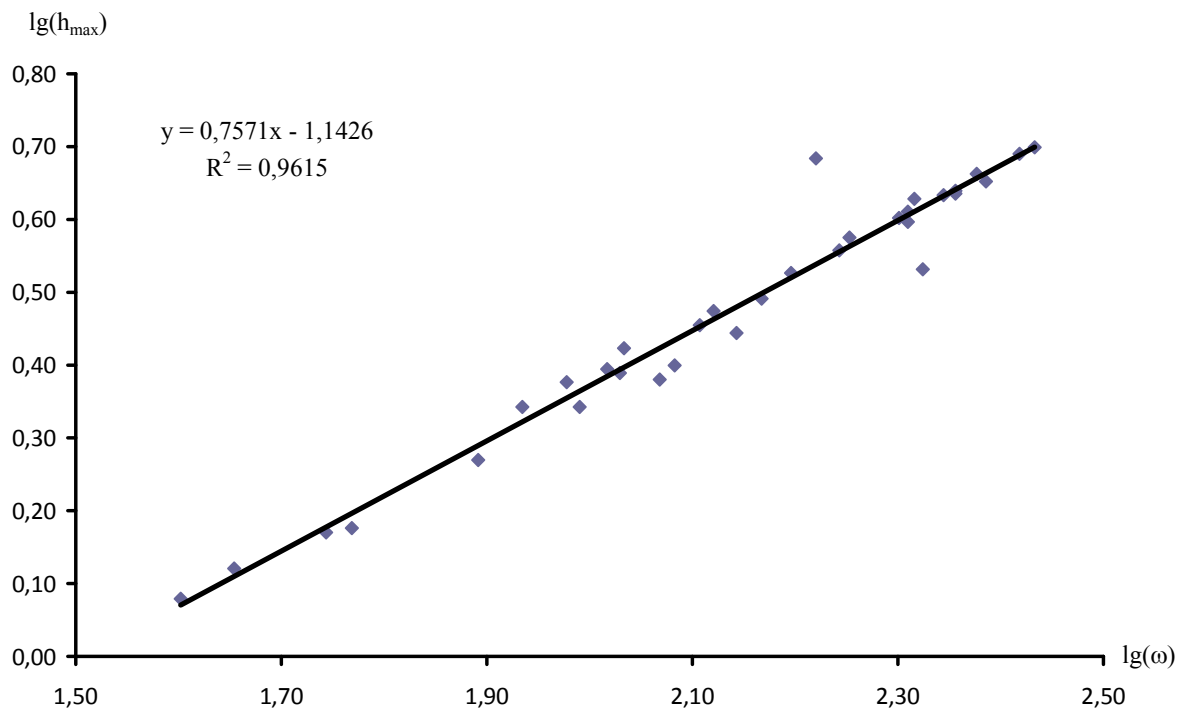


Рисунок 1.2 – Залежність між площами живих перерізів і найбільшими глибинами потоку $\omega=f(h_m)$

а) р.Десна – с.Голубея; б) р. Болва – с. Псур

Таблиця 1.3 – Вихідні дані по швидкостях течії
(р.Десна – с.Голубея, створ №1)

Номер п/п	Q , м ³ /с	ω , м ²	V , м/с	B , м	h_m , м	$\lg \omega$	$\lg B$	$\lg h_m$
1	124	181	0,68	60,0	3,90	2,26	1,78	0,59
2	91,8	164	0,56	55,3	3,60	2,21	1,74	0,56
3	64,8	142	0,46	54,1	3,20	2,15	1,73	0,51
4	59,1	134	0,44	53,5	3,05	2,13	1,73	0,48
5	49,0	120	0,41	52,5	2,80	2,08	1,72	0,45
6	47,6	118	0,40	52,7	2,60	2,07	1,72	0,41
7	40,4	102	0,40	51,4	2,30	2,01	1,71	0,36
8	34,1	89,4	0,38	50,0	2,10	1,95	1,70	0,32
9	31,5	78,8	0,40	49,6	1,87	1,90	1,70	0,27
10	27,5	69,4	0,40	48,5	1,65	1,84	1,69	0,22
11	23,4	60,5	0,39	47,9	1,47	1,78	1,68	0,17
12	19,5	49,9	0,39	47,2	1,26	1,70	1,67	0,10
13	17,7	46,1	0,38	47,1	1,16	1,66	1,67	0,06
14	42,3	93,5	0,45	50,0	2,25	1,97	1,70	0,35
15	31,1	71,8	0,43	48,7	1,73	1,86	1,69	0,24
16	24,1	59,8	0,4	48,0	1,47	1,78	1,68	0,17
17	24,2	60,0	0,4	48,0	1,48	1,78	1,68	0,17
18	16,3	42,4	0,38	46,5	1,18	1,63	1,67	0,07
19	18,2	46,6	0,39	47,3	1,30	1,67	1,67	0,11
20	20,3	50,3	0,40	47,3	1,28	1,70	1,67	0,11
21	54,5	119	0,46	52,5	2,70	2,08	1,72	0,43
22	78,9	155	0,51	56,0	3,32	2,19	1,75	0,52
23	45,5	104	0,57	50,7	2,44	2,02	1,71	0,39
24	35,5	83,3	0,43	49,8	2,05	1,92	1,70	0,31
25	50,3	106	0,47	51,0	2,45	2,03	1,71	0,39
26	62,2	127	0,49	54,0	2,85	2,10	1,73	0,45
27	57,4	126	0,46	53,5	2,90	2,10	1,73	0,46
28	96,6	166	0,58	55,6	3,60	2,22	1,75	0,56
29	121	179	0,68	57,1	3,88	2,25	1,76	0,59
30	111	173	0,64	56,7	3,74	2,24	1,75	0,57
31	97,7	167	0,59	55,7	3,65	2,22	1,75	0,56
32	82,8	158	0,52	54,8	3,48	2,20	1,74	0,54
33	69,2	147	0,47	53,5	3,30	2,17	1,73	0,52

Параметр $r = r_0 z$ залежить головним чином від форми русла, що характеризується r_0 , оскільки величина z змінюється для значного класу природних потоків незначно. У табл. 1.4 наведені значення r та r_0 для основних форм русла.

Таблиця 1.4 - Значення руслових показників r та r_0

Форма русла Параметри	Трикутна	Квадратно- параболічна	Кубічна пара- бола	Коритоподібна парабола 4-ї степені	Прямокутна
r_0	0,50	2/3	0,75	0,80	1,00
r (при $z=0,75$)	0,38	1/2	0,56	0,60	0,75
r (при $z=2/3$)	1/3	0,44	0,50	0,53	0,67

За наявності r не важко визначити чисельні значення α та β , використавши рівняння (1.5) і (1.6). Так, для території Верхнього Дніпра: $\alpha = 0,32$; $\beta = 0,34$.

Таким чином, рівняння (1.4) набуває вигляду:

$$V = \alpha \cdot Q^{0.32} I^{0.34}. \quad (1.7)$$

1.2.2 Визначення швидкісного коефіцієнта α

Швидкісний коефіцієнт α А.М.Бефані та Є.Д.Гопченко (1981) пропонують виразити залежно від площі басейну до замикаючого створу, яка опосередковано характеризує форму русел річок і їх шорсткість. Дійсно, при одній і тій же витраті води із зростанням площі басейну спостерігається зменшення відношення середньої глибини річки до її ширини. Цей факт, очевидно, пов'язаний з тим, що із зростанням розміру потоку збільшується роль бокової та зменшується роль глибинної ерозії.

Що стосується коефіцієнта шорсткості, то його мабуть можна як окремий параметр не враховувати. Шорсткість визначається для розроблених русел та беззаплавних річок такими гідравлічними елементами як витрати води та уклон річки, співвідношення яких визначає ступінь розроблення русла.

Для більшості рівнинних річок, що мають заплаву, формула (1.7) дає перебільшені значення швидкості добігання, тому що умови руху води між створами таких річок більш несприятливі, ніж на ділянках вододіливних постів.

При розрахунку швидкісного коефіцієнта α , повернемося до табл.1.1.

Щоб одержати значення швидкісного коефіцієнта α , необхідно проаналізувати динаміку швидкості течії від витрати води за залежністю $V=f(Q)$. Вихідні дані для побудови залежностей містяться в "Гидрологических ежегодниках" (у таблицях «Измеренные расходы воды»). Необхідно при цьому мати на увазі, що стан русла повинен бути вільним від льодових утворень та заростання. А.М.Бефані (1958), розглядаючи подібні залежності, прийшов до висновку, що часто вони не є монотонними при збільшенні витрат води.

До виходу води на заплаву відбувається чітке збільшення швидкості течії із зростанням Q . Після виходу води на заплаву, завдяки збільшенню шорсткості русла, динаміка швидкості має інший вигляд - може спостерігатися її стабілізація, а у деяких випадках - із збільшенням витрати води швидкість течії може, навіть, зменшуватись.

М.В. Лаликін (1958) виділив декілька типів залежності швидкості течії добігання при збільшенні витрат води:

1. З виходом води на заплаву швидкості течії безперервно зростають, але у дещо повільнішому темпі. Характерно це для річок з неширокою луговою заплавою, покритою рідким чагарником, місцями - лісом.

2. Швидкості течії залишаються практично незмінними, бо зростання витрат води компенсується відповідним підвищенням шорсткості по ходу затоплення заплави. Це властиво річкам із заплавою середньої ширини, незначно порізаною протоками (рис.1.3).

3. Швидкості течії з виходом води на заплаву спочатку зменшуються, а потім після повного затоплення заплави при зростанні витрат води або гідравлічного радіуса починають збільшуватись (рис.1.4).

Таким чином, при будь-якому типі з виходом води на заплаву відбувається затухання інтенсивності наростання швидкості течії.

Витрата води, при якій відбувається стабілізація або суттєве уповільнення швидкості течії, називається критичною ($Q_{кр}$). Природно, критичній витраті води відповідає критична швидкість течії ($V_{кр}$).

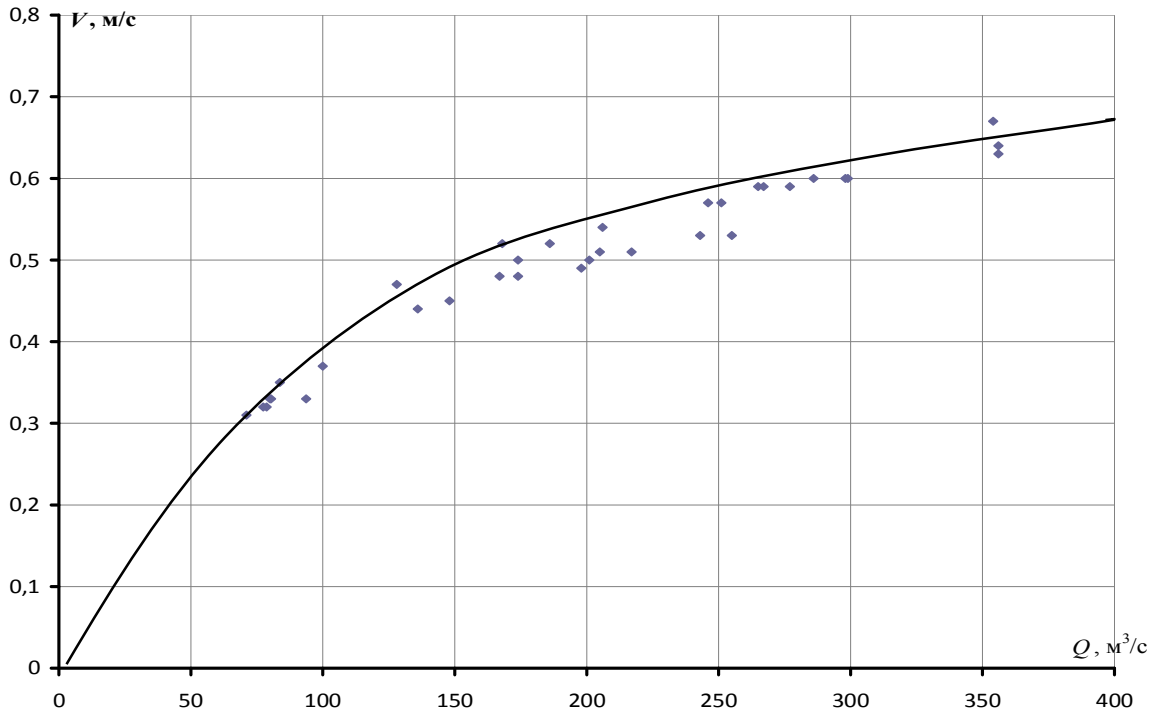


Рисунок 1.3 – Залежність швидкості течії від витрати води (р.Десна-с.Розльоти)

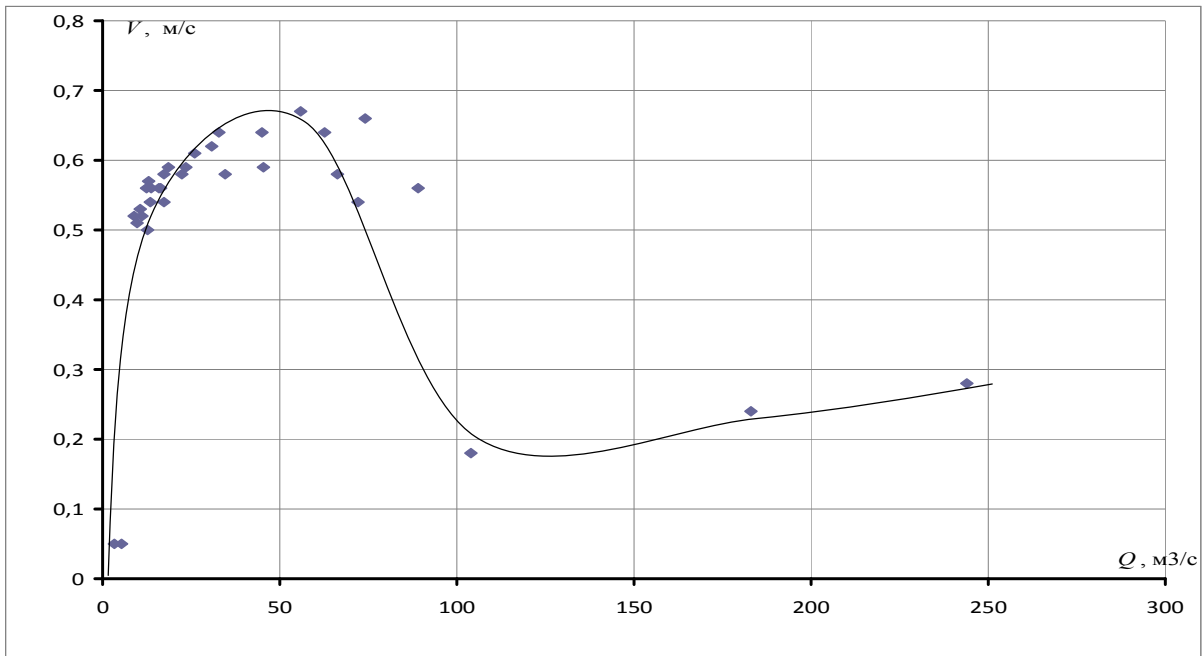


Рисунок 1.4 – Залежність швидкості течії від витрат води (р.Свапа-с.Старе Місто)

Одержані значення $Q_{кр}$ та $V_{кр}$ занесені до табл. 1.2. За даними цієї таблиці у логарифмічних координатах можна побудувати залежність $V_{кр} = f(Q_{кр})$, яка наведена на рис.1.5. Описується вона рівнянням

$$V_{кр} = 0,36Q_{кр}^{0,25}; \quad \kappa = 0,65. \quad (1.8)$$

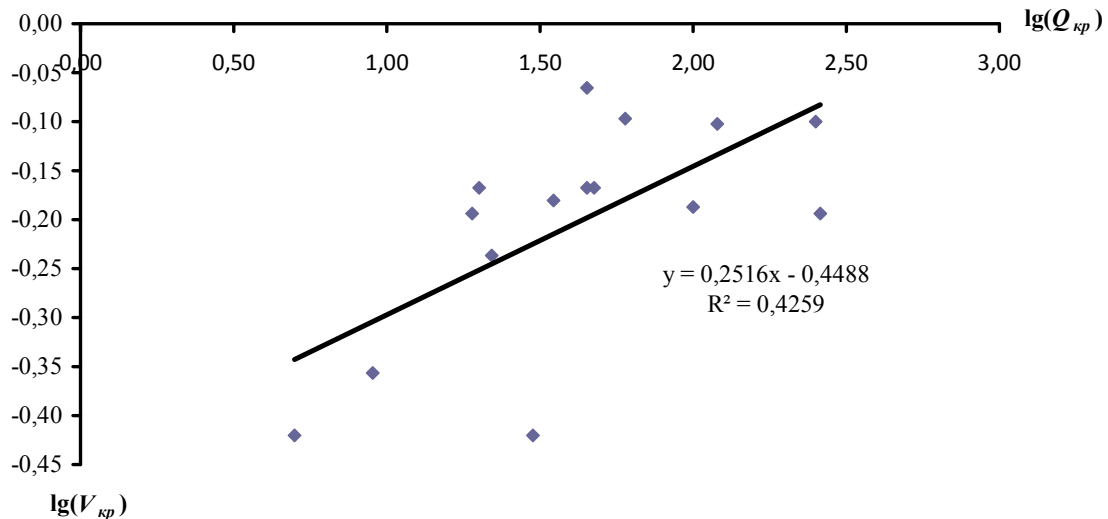


Рисунок 1.5 – Залежність критичних швидкості течії $V_{кр}$ і витрати води $Q_{кр}$

Потім в логарифмічних координатах укладається залежність між $\alpha = V_{кр} / Q_{кр}^{0,25}$ і середньозваженим уклоном річки $I_{сер.зв.}$ (рис.1.6). Якщо на цьому графіку провести лінію тренда із тангенсом кута нахилу $\alpha = 0,34$, то відрізок, що відсікається на осі ординат, буде визначати шукане значення параметра, яке для району, що розглядається, дорівнює 0,31 (при розмірності швидкості в м/с) або 1,13 (при розмірності швидкості в км/год. Таким чином, рівняння (1.7) набуває вигляду

$$V = 0,31 \cdot Q^{0,25} I^{0,34}, \text{ м/с}; \quad r = 0,64 \quad (1.9)$$

або

$$V = 1,13 \cdot Q^{0,25} I^{0,34}, \text{ км/год.} \quad (1.10)$$

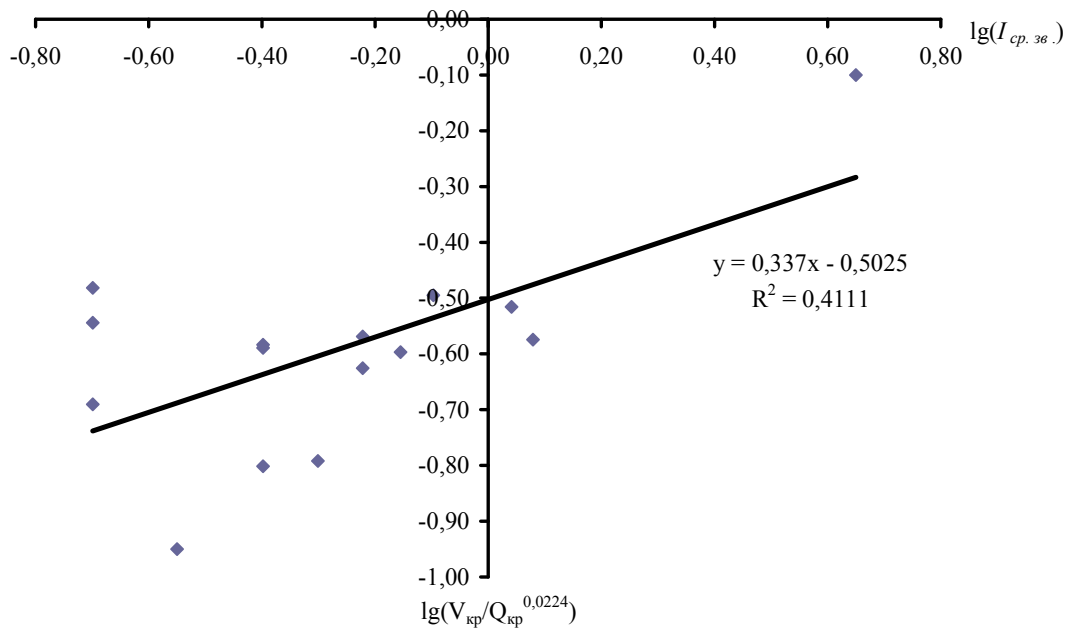


Рисунок 1.6 – Залежність відношення $\frac{V_{kp}}{Q_{kp}^{0.25}}$ від середньозваженого ухилу річок

1.2.3 Спрощення структури формули швидкості руслового добігання повеневих (паводкових) хвиль

При обчисленні швидкості добігання за наданою формулою (1.9) або (1.10) необхідні дані про розрахункові витрати води Q_m . Це суттєво ускладнює розрахунки, оскільки сама витрата води Q_m є величиною, що підлягає визначенню. Тому розрахунок максимальних витрат води рідкісної ймовірності перевищення потребує розв'язання з використанням обчислювальних процедур.

З метою спрощення розрахунку V_d можна наближено виразити швидкість добігання V_{kp} залежно від площі басейну F .

Для річок з добре розвинутою заплавою швидкість добігання стабілізується та залишається практично малозмінною у великому діапазоні витрат води. Використовуючи цю обставину, рекомендується вводити в (1.9) або (1.10) не просто витрату Q_m , а її значення Q_{kp} , яке є функцією площі басейну F . З цією метою у логарифмічних координатах будується залежність $Q_{kp} = f(F)$. Для території Верхнього Дніпра, відповідно до рис.1.7

$$Q_{кр} = 1,01 \cdot F^{0,51} . \quad (1.11)$$

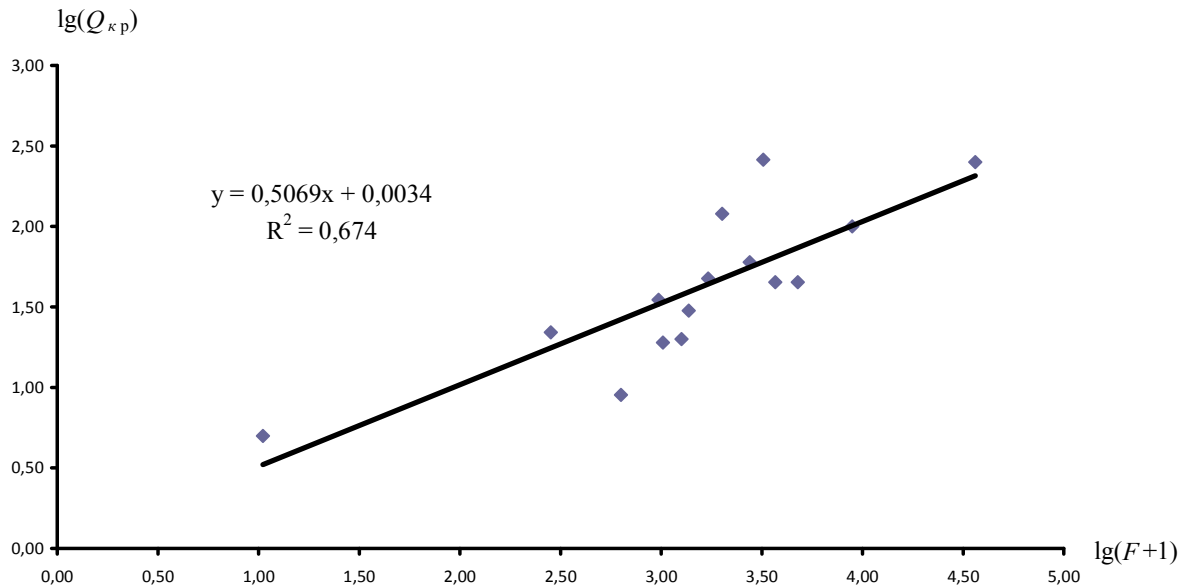


Рисунок 1.7 – Залежність критичних значень витрат води $Q_{кр}$ від розміру водозборів

З урахуванням на (1.11), запишемо спрощений варіант регіональної формули швидкості руслового добігання (1.10):

$$V_{\partial} = 1,13F^{0,13} I_{ср.зв}^{0,34}, \text{ км/год} . \quad (1.12)$$

Контрольні запитання до практичного завдання 1

1. У чому відмінності швидкості течій, що вимірюються на гідростворах річок, від швидкості переміщення паводкових і повеневих хвиль?
2. У чому особливості динаміки швидкості течії на річках із заплавами?
3. Яким чином шорсткість русел і заплави впливають на швидкість потоку?
4. Чи можливо у формулі швидкості течії замість глибини потоку використовувати витрати води?

5. У чому особливості переміщення паводкових хвиль по каналах і по природних руслах річок?

Перелік літератури до практичного завдання 1

1. Алексеев Г.А. Паводочный сток рек СССР. – М.: Гидрометеиздат. - 1956. – 107 с.
2. Бефани А.Н. Основы теории липневого стока // Труды ОГМИ. – 1958. -Ч.II. – Вып. XIV. - 305 с.
3. Иваненко А.Г. Исследование скоростей добегаания паводков на реках Закарпатской области // Труды ОГМИ. – 1961. – Вып.24. – С.52-53.
4. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. Киев. – КНТ. – 2005. – 148 с.
5. Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. – Л.: Гидрометеиздат. – 1971. – 181 с.
6. Методичні вказівки до практичних занять по курсу «Гідрологічні розрахунки» Розробка спрощеної структури і параметрів формули швидкості руслового добігання // Гопченко Є.Д., Деркач Т.В., Одеса, ОГМІ, 1996.- 16 с.

Практичне завдання №2

2. Математичні моделі короткострокових прогнозів гідрографа дощового та тало-дощового стоку річок

Мета роботи: Оволодіння теоретичними положеннями і практичними прийомами для прогнозу гідрографа дощового та тало-дощового стоку рівнинних і гірських річок за математичними моделями.

Завдання:

- визначення складових блок-схеми математичних моделей: отримання, обробки вихідної інформації, розрахунку основних процесів стокоформування, встановлення ординат гідрографа дощового чи тало-дощового стоку у замикаючому створі річки;
- визначення змінних і параметрів в окремих блоках моделей.

2.1 Математична модель Гідрометцентру СРСР для прогнозу гідрографа талого стоку весняного водопілля рівнинних річок

Порядок виконання практичного завдання

Вихідні дані, що використовуються в моделі

Блок вихідних даних включає:

- 1) середньодобові значення:
 - температура повітря T , °С;
 - опади P , мм;
- 2) дані снігомірних зйомок:
 - максимальні запаси води в сніговому покриві в полі і лісі S_m , мм;
- 3) фізико-географічні та ін. характеристики:
 - залісеність водозбору β , в частках від загальної площі басейну;
 - параметр розподілу снігового покриву для поля α_n і лісу α_l ;
 - коефіцієнт танення снігу в полі a_n та лісі a_l , мм/(д·°С).

Розв'язання:

Розглядається *повний варіант моделі*, коли всі складові балансу та трансформацію водовіддачі басейну розраховуються окремо для польових і лісових ділянок. *Неповний варіант моделі* передбачає роздільний розрахунок для польових і лісових ділянок тільки сніготанення.

2.1.1 Визначення складових блок-схеми математичної моделі

Надходження води на водозбір.

При розрахунку інтенсивності сніготанення в полі використовується формула

$$h_T = aT, \quad (2.1)$$

де h_T – шар талої води, мм/д;

a – коефіцієнт танення снігу, тобто шар талої води на 1°C , мм/(д \cdot °C).
Визначення кількості води, яку може утримати сніг, виконується як

$$h_0 = \gamma \cdot S_m, \quad (2.2)$$

де γ – вологоємність снігу.

Після того, як сумарний шар танення снігу на n -й день від початку сніготанення $\sum_{i=1}^n h_{T_i} > h_0$, почнеться водовіддача танучого снігу. Розрахунок водовіддачі снігового покриву h_B , мм за припущенням постійної вологоємності снігу в період сніготанення $\gamma = 0,13$ (для середньозернистого снігу), здійснюється за виразом

$$h_B = h_T / (1 - \gamma) = 1,15 \cdot h_T \quad (2.3)$$

Для розрахунку водовіддачі снігу використовується рівняння

$$h_B = \begin{cases} \{ [z_n - \gamma_n(1 - z_n)] - [z_{n-1} - \gamma_{n-1}(1 - z_{n-1})] \} S_m; & \text{при } z_n > z_0; \\ 0 & \text{при } z_n \leq z_0, \end{cases} \quad (2.4)$$

де S_m – максимальний запас води в сніговому покриві до початку сніготанення;

z_n і z_{n-1} – відповідно відносне танення снігу на даний і попередні дні;

z_0 – відносне зменшення снігу, при якому починається водовіддача;

γ_n , γ_{n-1} – вологоємність снігу в n -й та $(n-1)$ -й дні.

Для розрахунку змінних формули (3.4) використовуються такі співвідношення:

$$z_n = \sum_{i=1}^n (h_{T,i} / S_m); \quad (2.5)$$

$$z_0 = \begin{cases} 0,34\gamma_{\text{макс}} + 0,059 & \text{при } \gamma_{\text{макс}} \leq 0,28; \\ 0,25\gamma_{\text{макс}} + 0,083 & \text{при } \gamma_{\text{макс}} > 0,28; \end{cases} \quad (2.6)$$

$$\gamma_{\text{макс}} = \begin{cases} (\gamma_{\text{макс}} - 0,06) \exp(-4z_n) + 0,06 & \text{при } \gamma_n \geq 0,063; \\ 0 & \text{при } \gamma_n < 0,063; \end{cases} \quad (2.7)$$

де $\gamma_{\text{макс}}$ – максимальна вологоємкість снігу перед початком сніготанення при щільності його ρ_0 , яка розраховується за таким рівнянням

$$\gamma_{\text{макс}} = \exp(-4\rho_0) - 0,04. \quad (2.8)$$

Водовіддача снігу, розрахована за формулами (2.3) чи (2.4), перераховується в приведену водовіддачу, тобто в надходження води на поверхню ґрунту з врахуванням покриття басейну снігом

$$h_{\Pi} = h_B(1 - f_c), \quad (2.9)$$

де f_c – площа водозбору, яка звільнилася від снігу (в частках одиниці) у вигляді

$$f_{c(x_T)} = \int_0^{x_T} \frac{a^\alpha}{\Gamma(\alpha)} X^{\alpha-1} \exp(-ax) ax, \quad (2.10)$$

де $x = S/\bar{S}$ – запас води в сніговому покриві S , в частках від середнього його значення по водозбору \bar{S} ;

x_T – загальний шар танення до моменту розрахунку;

$\Gamma(\alpha)$ – гама-функція;

$\alpha = 1/C_v^2$;

C_v – коефіцієнт варіації запасів води в сніговому покриві по площі водозбору.

Приведена водовіддача для всього водозбору визначається як середньозважена подача води з польових $h_{Пн}$ та лісових $h_{Пл}$ ділянок річкових басейнів. Тоді

$$h_{П} = h_{Пн}(1 - \beta) + h_{Пл} \cdot \beta, \quad (2.11)$$

де β – залісеність водозбору у частках одиниці.

Сумарні втрати стоку і надходження води до руслової мережі. Добові значення надходження талої води в період сніготанення беруться пропорційними діючій площі $F_{Д}$ (в частках одиниці)

$$q = h_{П}F_{Д}. \quad (2.12)$$

Діюча площа (коефіцієнт водовіддачі) розраховується за виразом

$$F_{Д} = 1 - \exp\left[-(\sum h_{П})/P_m\right], \quad (2.13)$$

де P_m – параметр, що характеризується максимально можливими сумарними втратами талих вод.

Опади в період сніготанення, що випадають при $T < 0^{\circ}C$, вважаються твердими і додаються до запасів води в снігові, а при $T > 0^{\circ}C$ – рідкими. Також вважається, що втрати рідких опадів в період сніготанення такі, як і втрати талої води.

Трансформація водовіддачі в гідрограф стоку в замикаючому створі. Витрати води в замикаючому створі річки розраховуються з використанням кривих добігання по рівняннях по повній схемі (при врахуванні польової та лісової частин басейну)

$$Q(t) = \left[\int_0^t p_{П}(t - \tau)q_{П}(\tau)d\tau + \int_0^t p_{Л}(t - \tau)q_{Л}(\tau)d\tau \right] + Q_{ГР}; \quad (2.14)$$

де k_Q – коефіцієнт розмірності;

$Q_{ГР}$ – ґрунтова складова, яка береться рівною витраті води в замикаючому створі річки перед початком сніготанення.

Блок-схема математичної моделі Гідрометцентру СРСР для розрахунку гідрографа весняного стоку (для відкритої і лісової частин басейну) наведена на рис.2.1 - (А) - для відкритої і (Б) лісової частин басейну.

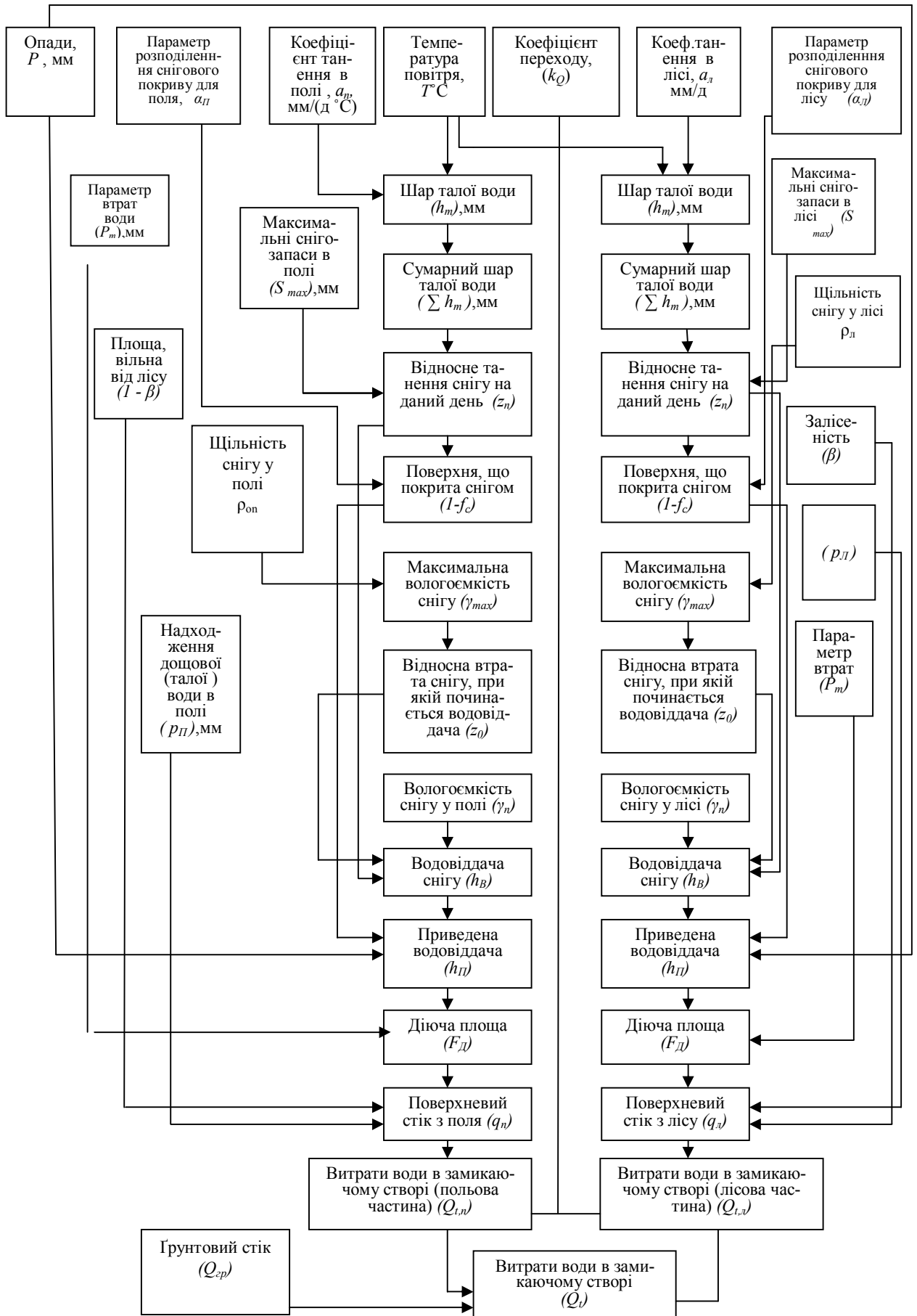


Рисунок 2.1 – Блок-схема розрахунку гідрографа весняного стоку

2.1.2 Визначення параметрів та констант моделі

Параметри та константи моделі для розрахунку та прогнозу гідрографів весняного водопілля на рівнинних річках (для відкритої і залісеної частин басейнів) включають:

a – коефіцієнт танення снігу, мм/(д·°C) (при розрахунку інтенсивності сніготанення в полі за формулою (2.1);

C_v – коефіцієнт варіації запасів води в сніговому покриві по території;

P_m – параметр, який характеризує втрати талого стоку за період водопілля;

n, τ – параметри кривої добігання.

Визначення параметрів моделі.

Значення коефіцієнтів танення снігу a в середньому можуть братись для поля 4,0-5,2 мм/(д·°C). Приблизний розрахунок інтенсивності сніготанення в лісі можна виконати за формулою (2.1) при коефіцієнті танення:

- для хвойного лісу

$$a_l = e^{-1,4\lambda} a_n, \quad (2.15)$$

- для листяного лісу

$$a_l = e^{-0,36\lambda} a_n, \quad (2.16)$$

де a_l і a_n – відповідно коефіцієнти танення в лісі та в полі;

λ – повнота лісу (в частках одиниці).

Рівняння (2.1) дає найкращі результати для лісових ділянок і для районів зі сталими багатосніжними зимами (на північ від 54 – 55° півн.ш.). Значення коефіцієнтів танення снігу для лісу a_l в середньому можна прийняти 1,8-2,4 мм/(д·°C). В ході сніготанення ці коефіцієнти повинні уточнюватися.

Коефіцієнти варіації снігового покриву на водозборі. Динаміка площі, покритої танучим снігом, може встановлюватися за даними про сумарне танення снігу на кожен день з урахуванням інтегральної кривої розподілу запасів води в снігу. Типові криві розподілу снігового покриву по площі побудовані В.Д.Комаровим.

Коефіцієнт варіації запасів води в сніговому покриві по площі водозбору C_v :

– коливається від 0,45 до 0,55 для поля і від 0,30 до 0,40 – для лісу;

– чим менше C_v , тим швидше сходить сніговий покрив;

— особлива чутливість результатів розрахунків проявляється при значеннях $C_v < 0,35$, коли зміна C_v навіть на 0,01 приводить до різкого зниження тривалості танення.

Параметри кривих добігання. Для розрахунку кривих добігання стоку використовується функція трансформації

$$p(t - \tau) = \frac{\Delta t}{(n-1)! \tau} \left(\frac{t}{\tau} \right)^{n-1} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2.17)$$

де n – кількість характерних ділянок;

τ – час руслового добігання в межах одної ділянки;

t – поточна ордината.

Визначення параметрів n та τ описано в навчальній літературі [1,2]. При цьому вхідними даними є: середньозважена водовіддача басейна в період сніготанення (неповний варіант моделі) або значення водовіддачі окремо для поля і лісу (повний варіант); вихідними – гідрограф талого стоку в замикаючому створі річки. При виборі початкових значень параметрів слід враховувати розміри басейна (із збільшенням площі басейна, як правило, зростає значення n) і загальний час добігання до замикаючого створу.

Параметр, який характеризує втрати стоку P_m . Цей параметр, на відміну від інших, змінюється з року в рік для даного басейну.

Параметр P_m враховує втрати води на випаровування з поверхні снігу та ґрунту, який звільнився від снігу в період сніготанення, на заповнення поверхневої ємкості водозбору та просочування води.

Визначення параметра P_m здійснюється зворотним шляхом із залежностей Є.Г. Попова, наприклад,

$$Y_m = X - P_m [1 - \exp(-X/P_m)], \quad (2.18)$$

де P_m є функцією вологості басейну (W) і глибини промерзання ґрунтів (L). Залежності $P_m = f(W, L)$ або $P_m = f(W)$ будуються за даними багаторічних спостережень за вологістю і промерзанням ґрунтів.

Для річок степової і лісостепової зон ЄТС В.Д.Комаров встановив, що

$$P_m = A \exp[-\omega(a + bL)], \quad (2.19)$$

де L – середня для басейну глибина промерзання ґрунтів, см;

ω - відносна (безрозмірна) характеристика запасу продуктивної вологи у метровому шарі ґрунтів

$$\omega = W/0,75 HB, \quad (2.20)$$

W – запаси продуктивної вологи, мм;
 HB – найменша вологоємність ґрунтів, мм;
 A, a, b – параметри.

2.2 Математична модель В.І.Кореня і В.О.Бельчикова для прогнозу гідрографу дощового та тало-дощового стоку весняного водопілля рівнинних річок

Порядок виконання практичного завдання

Вихідні дані, що використовуються в моделі визначаються типом стоку, що розраховується – талий, дощовий чи тало-дощовий.

Блок вихідних даних включає:

1) *середньодобові значення*, осереднені для даного водозбору:

- дефіцит вологості повітря $D(t)$, гПа;
- температура повітря $T(t)$, °С;
- опади (рідкі та тверді) $P(t)$, мм;

2) *дані снігомірних зйомок*, осереднені окремо для польових та лісових ділянок:

- висота снігового покриву $H(t)$, см;
- запас води в сніговому покриві $S(t)$, мм;

3) *фізико-географічні та інші характеристики*:

- залісеність водозборів β , в частках від загальної площі басейнів;
- характеристики зволоженості ґрунту (у шарі z) у початковий момент часу (кінець водопілля, літо) – наприклад, середні за попередні місяць чи декаду витрати води в річці.

Розв'язання: Модель може бути використана для безперервного розрахунку талого, дощового та тало-дощового стоку завдяки тому, що вона описує теплофізичні процеси, які відбуваються в шарі ґрунту (зоні аерації – зазвичай 50 см) та на його поверхні. При визначенні складових рівняння водного балансу водозбору враховуються відмінності формування стоку на лісових та польових ділянках басейнів.

2.2.1 Визначення складових блок-схеми математичної моделі

Надходження води на водозбір.

Схема розрахунку надходження води в період сніготанення заснована на визначенні:

- інтенсивності сніготанення за допомогою коефіцієнта танення за формулою (2.1)

$$h_T = aT,$$

де a – коефіцієнт танення, зазвичай виражається в мм/(д·°C);

T – середня температура повітря;

- приведеної інтенсивності сніготанення за співвідношенням

$$h_{II} = h_T(1 - f_c), \quad (2.21)$$

де h_T – інтенсивність сніготанення;

f_c – площа, на якій сніг вже зійшов;

- шару водовіддачі за виразом

$$h_B = \begin{cases} 0, & \sum^t (h_T + P) \leq \gamma S_{\max} \\ \frac{h_T}{1 - \gamma S_{\max} / S'_{\max}} + P, & \sum^t (h_T + P) > \gamma S_{\max} \end{cases}, \quad (2.22)$$

де S_{\max} – запас води в снігу на початок танення;

S'_{\max} – сума цього запасу та опадів, які випали від початку танення до моменту настання максимальної водоутримуючої здатності снігу (γS_{\max});

h_T – шар поталої води;

P – опади.

При визначенні міри покриття басейну снігом використовують криву розподілу (2.10).

Промерзання та відтанення ґрунту. Розрахунок меж промерзання та відтанення ґрунту здійснюється по залежностях, отриманих з рівняння теплопереносу в шарі ґрунту у вигляді

$$Z(t + \Delta t) = -\frac{\lambda H}{\lambda_{сн}} + \sqrt{\left[\frac{\lambda H}{\lambda_{сн}} + Z(t)\right]^2 + 2\lambda|T|\Delta t / L(w + w_0)}, \quad (2.23)$$

де H та T – відповідно висота снігу та температура повітря за проміжок часу Δt ;

$Z(t)$ та $Z(t + \Delta t)$ – межа промерзання (відтанення) до початку та в кінці розрахункового інтервалу часу;

w – продуктивна об'ємна вологість на фронті промерзання (відтанення);

L – питома теплота плавлення льоду;

λ – коефіцієнт теплопровідності мерзлої (при промерзанні) та талої (при таненні) ґрунту;

w_0 – наближена до вологості в'янення зв'язана вологість;

$\lambda_{сн}$ – коефіцієнт теплопровідності снігу, що розраховується за допомогою залежності

$$\lambda_{сн} = 1,373 \cdot 10^{2,25} \rho_0, \quad (2.24)$$

де $\lambda_{сн}$ в Дж/(д· год·°С);

ρ_0 - щільність снігу, г/см³.

Коефіцієнт теплопровідності для лісової та лісостепової зон розраховується за співвідношеннями:

$$\lambda_T = 4,19 \left[(5,42\rho - 3,34) \left(\ln \frac{\omega}{\rho} + 4,6 \right) - (1,6\rho - 0,5) \right], \quad (2.25)$$

$$\lambda_M = \lambda_T + 4,19 \left[0,8 - 26,7 \left(\frac{\omega}{\rho} - 0,1 \right) \right], \quad (2.26)$$

де λ_T та λ_M – коефіцієнт теплопровідності талоого та мерзлого ґрунту, відповідно, Дж/(см· год·°С);

ρ - щільність ґрунту, г/см³.

Втрати на поглинання в ґрунт. Основними факторами, що впливають на втрати води на поглинання в ґрунт є запас вологи у виді-

леному шарі ґрунту до моменту розрахунку та його льодовитість (промерзання). Для промерзлого ґрунту

$$I = \frac{10w_{\text{макс}}z - W}{zk} + i_0(w_T / w_{\text{макс}})^{3,5}(1 + 8w_M)^{-2} \quad (2.27)$$

де I - втрати на поглинання води у ґрунт, мм/год;

$w_{\text{макс}}$ - максимально можлива для даного ґрунту продуктивна вологість; w_T - об'ємний вміст рідкої вологи;

w_M - об'ємна льодовитість;

$W = (10w_T + w_M)z$ - загальний запас вологи в шарі ґрунту, мм;

z - виділений шар ґрунту, см;

k - параметр, який характеризує поглинаючу спроможність ґрунту, год/см;

i_0 - коефіцієнт фільтрації верхнього шару ґрунту, мм/год.

Щоб врахувати вплив ґрунтових вод на втрати стоку після відтанення ґрунту у формулу (3.36) вводиться поправка

$$\Delta I = \frac{\xi(10w_{\text{макс}} - W_k)}{zk}, \quad (2.28)$$

де W_k - запас вологи в ґрунті на момент повного його відтанення, мм;

ξ - параметр, що менший за одиницю.

Втрати на випаровування. Випаровування з талого та промерзлого ґрунту, який звільнився від снігу, розраховується за рівнянням

$$E = k_2 D \exp\left[-(w_{\text{макс}} - w_T) / w_{\text{макс}}\right] \quad (2.29)$$

де E - випаровування, мм/год;

D - дефіцит вологості повітря, гПа;

k_2 - параметр, який дорівнює випаровуванню при одиничному дефіциті, мм/(гПа·год).

Внутрішньогрунтовий стік та відтік вологи в шари, що розташовані нижче, розраховуються за формулами вигляду:

$$q_I = \chi i_0 (w_T / w_{\text{макс}})^{3,5}; \quad (2.30)$$

$$q_H = i_H (w_T / w_{\text{макс}})^{3,5}, \quad (2.31)$$

де q_I - внутрішньогрунтовий стік, мм/год;

q_H - відтік вологи в шари, що розташовані нижче, мм/год;

χ - параметр, який враховує дренавання водозбору (менший одиниці);

i_H - коефіцієнт фільтрації на нижній границі виділеного шару, мм/год.

Поверхневий стік. Поверхневий стік визначається з урахуванням поверхневого затримання. Для *лісових* частин басейну

$$q_L = \begin{cases} (h_B - I)(1 - s_I), & I < h_B, \\ 0, & I \geq h_B, \end{cases} \quad (2.32)$$

де втрати води на поверхнєве затримання s_I розраховуються за виразом

$$s_I = \exp \left[-m \sum (h_B - I - E) \right]; \quad (2.33)$$

q_L - поверхневий стік, який сформувався на лісних ділянках, мм/год;

$(h_B - I)$ - шар поверхневого водоутворення, мм/год;

$(1 - s_I)$ - діюча площа водозбору, в частках одиниці;

m - параметр поверхневого затримання води, 1/мм.

При розрахунку поверхневого стоку *в полі* враховується можливість утворення ділянок з водонепроникним шаром ґрунту, на яких відсутня інфільтрація води. Поверхневий стік з польових ділянок розраховується за виразом

$$q_{II} = \begin{cases} (h_B - I)s_I f_k + h_B s(1 - f_k), & I < h_B \\ h_B s(1 - f_k), & I \geq h_B \end{cases}, \quad (2.34)$$

де діюча площа на таких ділянках

$$s = 1 - \exp\left[-m \sum^t (h_B - E)\right], \quad (2.35)$$

f_k - частка площі польових ділянок, на яких не утворився водонепроникний шар, розраховується за рівнянням

$$f_k = 1 - \exp(-\alpha_Z K_k) \sum_{i=1}^{\alpha_Z} (\alpha_Z K_k)^{\alpha_Z - i} / \Gamma(\alpha_Z - i + 1), \quad (2.36)$$

де $\alpha_Z = 1 / C_{v,z}^2$ - параметр розподілу глибини промерзання (зазвичай береться на рівні 3,0);

K_k - параметр, що визначається як

$$K_k = U_k / (w_{II} Z_{II}), \quad (2.37)$$

w_{II} і Z_{II} - середні для польових ділянок вологість ґрунту та глибина промерзання;

U_k - параметр, який характеризує критичне значення добутку вологості ґрунту на глибину промерзання, при перевищенні якого ґрунт стає практично водонепроникним.

Формування гідрографу стоку в замикаючому створі. Поверхневий стік, розрахований за співвідношеннями (2.32) та (2.34) та ґрунтовий стік за (2.30) перетворюється на гідрограф в замикаючому створі за допомогою лінійної моделі (2.14) з кривою добігання (2.17).

Блок-схема математичної моделі В.І.Кореня і В.О.Бельчикова для прогнозу гідрографу дощового та тало-дощового стоку весняного водопілля рівнинних річок представлена на рис.2.2.

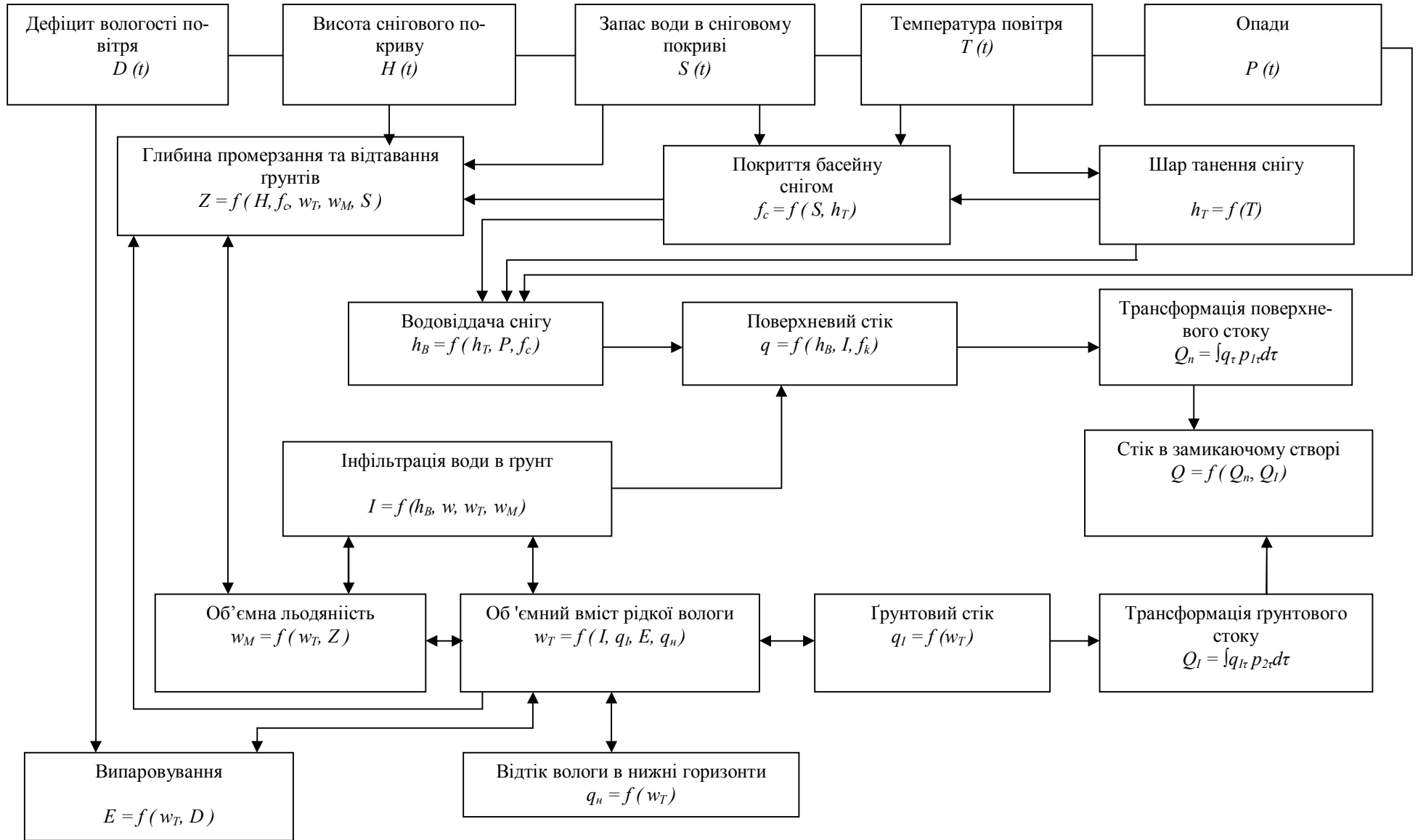


Рисунок 2.2 – Блок-схема моделі формування талого, дощового і тало-дощового стоку

2.2.2 Визначення параметрів та констант моделі

Коефіцієнти, що використовуються в моделі:

- беруться *однаковими для польових та лісових ділянок*: i_n – коефіцієнт фільтрації на нижній границі виділеного шару ґрунту; w_{\max} – максимальна можлива для даного ґрунту продуктивна вологість; k_2 – випаровуваність при одиничному дефіциті вологості повітря; ξ – параметр, що враховує вплив ґрунтових вод на інфільтрацію; w_0 – вологість в'янення; γ – водоутримуюча здатність снігу. Один коефіцієнт використовується тільки при розрахунку для польових ділянок (U_k – критичне значення добутку wZ для утворення водонепроникних шарів ґрунту);

- беруть *різні значення для польових та лісових ділянок*: k – параметр, який характеризує сорбційні властивості ґрунту; χ – дренажування водозбору при утворенні ґрунтового стоку; i_0 – коефіцієнт фільтрації виділеного шару ґрунту; m – параметр поверхневого затримання води; τ_1, n_1 – параметри трансформації поверхневої водовіддачі; τ_2, n_2 – параметри трансформації ґрунтової водовіддачі; a – коефіцієнт танення снігу; α – параметр кривої розподілу снігу; ρ – щільність ґрунту.

Число коефіцієнтів залежить від особливостей даного водозбору, зокрема, від його залісеності. Деякі з них оцінюються за даним стаціонарних спостережень або розраховуються (w_{\max}, k_2, a), інші визначаються за методами оптимізації ($k, \chi, i_0, i_n, m, \tau_1, n_1, \tau_2, n_2, U_k, \xi$).

Визначення параметрів моделі.

Здійснюється перехід від індексу зволоження до початкової вологості ґрунту за допомогою залежності

$$w_H = [0,2 + 0,4(Q_n - Q_{n,\min}) / (Q_{n,\max} - Q_{n,\min})] w_{\max}, \quad (2.38)$$

де Q_n – індекс зволоження, який використовується в якості характеристики початкової вологості (наприклад, середні за попередні місяць чи декаду витрати води в річці);

$Q_{n,\max}$ та $Q_{n,\min}$ – максимальне та мінімальне значення цього індексу за наявний період спостережень.

Коефіцієнт k_2 визначається відповідно формули Давидова (якщо дефіцит вологості повітря виражений в гектопаскалях)

$$k_2 = 0,008(1 + 0,5 \bar{u}), \quad (2.39)$$

де \bar{u} – багаторічна середня швидкість вітру для даного району на висоті флюгера, м/с.

Значення k_2 для лісової зони європейської частини колишнього СРСР дорівнює 0,024-0,027 мм/год (при $\bar{u} = 4$ м/с).

Коефіцієнти танення в полі та в лісі визначаються за графіком зв'язку максимальних запасів води в сніговому покриві (по окремих станціях) з сумою плюсових значень температури $S = f(\Sigma T_+)$ від початку танення до сходу снігу на 50 % площі. Тангенс кута нахилу цього зв'язку дорівнює коефіцієнту танення a . Для поля він береться рівним $a_n = 4$ мм/(°С·д), а для лісу $a_l = 1,5$ мм/(°С·д).

Коефіцієнт w_{\max} визначається за даними вимірів воднофізичних характеристик ґрунту ($w_{\max} = 0,4$).

Коефіцієнти w_0 , γ , ρ , α значно менше впливають на гідрограф стоку в замикальному створі. Тому ці константи не оптимізуються, а оцінюються за даними натурних вимірів ($w_0 = 0,1$; $\rho = 1,3$ г/см³) або за рекомендаціями, наданими у попередніх пунктах ($\gamma = 0,13$ і $\alpha = 11$ при $C_\gamma = 0,3$).

2.3 Математична модель для прогнозу гідрографа весняного водопілля гірських річок (модель САРНДГМІ, автор Ю.М. Денисов)

Порядок виконання практичного завдання

Вихідні дані, що використовуються в моделі.

Блок вихідних даних включає:

- 1) середньодобові значення:
 - температура повітря $T(t)$, °С;
 - опади $P(t)$, мм;
- 2) дані снігомірних зйомок по висотних зонах:
 - запас води в сніговому покриві $S(t)$, мм;
 - ступінь покриття басейну снігом;
- 3) фізико-географічні та інші характеристики:
 - гіпсографічна крива басейнів в цілому та їх частин.

Точність розрахунків за моделлю знижується через рідку мережу існуючих станцій спостережень в горах. Тому доцільно залучати дані вимі-

рів за сумарними опадомірами на тих висотах, де звичайні станції і пости відсутні. При випуску прогнозу щоденних витрат води (із завчасністю до 5 діб) використовується метеорологічний прогноз температури повітря і опадів на кілька діб.

Розв'язання: Модель Ю.М. Денисова дає можливість розрахунку гідрографів тало-дощового стоку гірських річок. При застосуванні моделі кращі результати одержуються для річок з невеликою кількістю рідких опадів, що випадають на вільну від снігу поверхню басейну.

2.3.1 Визначення складових блок-схеми математичної моделі

Накопичення снігу і надходження води на поверхню басейну. Розрахунок надходження води на поверхню басейну здійснюється по висотних зонах, на які попередньо розбивають басейн (200-400м).

Для визначення *добових сум опадів* по висоті використовується залежність, запропонована Ю. М. Денисовим:

$$P(H, t) = P_{H_1}(t) [1 + k_2(H - H_1) + k_3(H - H_1)^2] , \quad (2.40)$$

де $P(H, t)$ - кількість опадів на висоті H в момент часу t ;

H_1 – задана висота, до якої приводяться опади, виміряні на станціях і постах;

k_2 і k_3 – параметри, які визначаються для конкретних басейнів або їх частини за спостереженими опадами.

Величина кількості опадів $P_{H_1}(t)$ в рівнянні (3.60) обчислюється за формулою

$$P_{H_1}(t) = \sum_{j=1}^n [P_{H_j}(t)/(R_n)], \quad (2.41)$$

де $P_{H_j}(t)$ - опади на j -й станції, розташованій на висоті H_j ;

n - кількість станцій;

R – вираз у рівнянні (2.41)

$$R = [1 + k_2(H - H_1) + k_3(H - H_1)^2]; \quad (2.42)$$

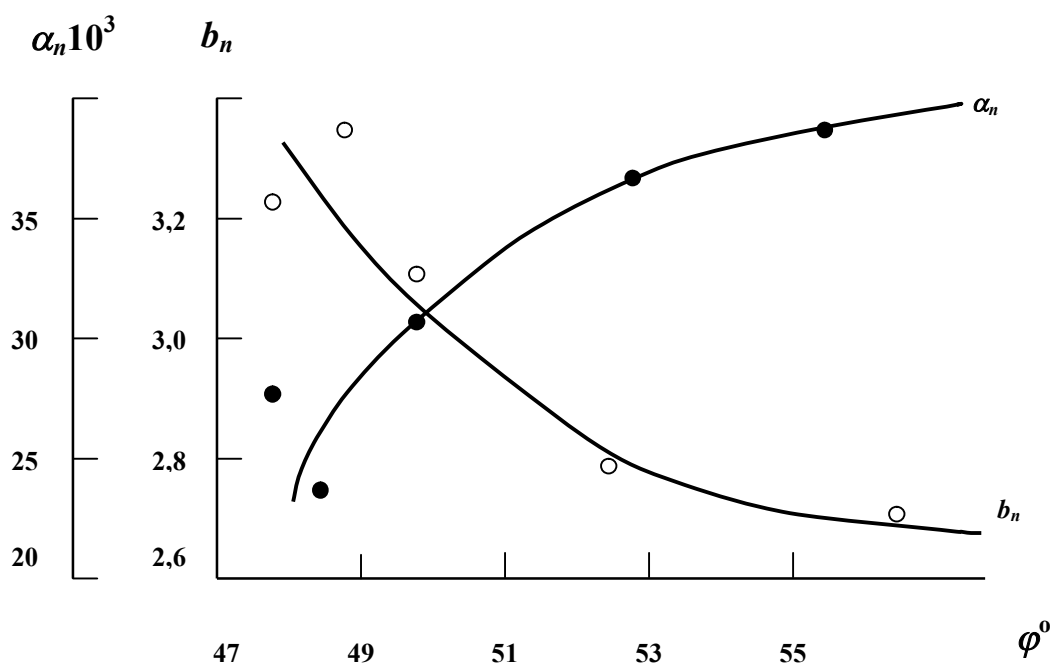
k_2 і k_3 – параметри, визначення яких описано нижче.

Розподіл *температури повітря* з висотою апроксимується лінійною залежністю. При цьому вертикальний градієнт температури повітря $\gamma(t)$ змінюється в часі у відповідності з рівнянням

$$\gamma(t) = \{a^3 / [a^2 + (t - \tau_0) / c]\} + \gamma_0, \quad (2.43)$$

де a, γ_0, τ_0, c - параметри, які визначаються за даними спостережень за температурою повітря.

Графічний вигляд залежності (2.43) наводиться на рис. 2.3.



- 1 - фактичний хід градієнта температури повітря (на схилі Ферганського хребта),
- 2 – апроксимація ходу градієнта температури повітря.

Рисунок 2.3 – Апроксимація внутрішньорічного ходу вертикального градієнта температури повітря

При розрахунку *накопичення і танення снігового покриву* за даними про опади та температуру повітря вважається, що:

- 1) вище ізотерми 2°C опади випадають тільки в твердому вигляді, а нижче - тільки в рідкому.

Розрахунок ізотерми 2°C $H_2(t)$ здійснюється за формулою

$$H_2(t) = H_1 - [2 - T(H_1, t) / \gamma(t)], \quad (2.44)$$

де $T(H_1, t)$ - температура повітря, приведена до висоти H_1 за формулою

$$T(H_1, t) = \frac{1}{n} \sum [T(H_j, t) - \gamma(t)(H_1 - H_j)]; \quad (2.45)$$

H_j - висота j -ї метеостанції;

n - кількість метеостанцій;

2) танення снігу відбувається тільки в зонах нижче ізотерми 0°C пропорційно температурі повітря при заданому коефіцієнті танення k_1 .

Розрахунок ізотерми 0°C $H_0(t)$ здійснюється таким чином

$$H_0(t) = H_1 + T(H_1, t) / \gamma(t); \quad (2.46)$$

3) водовіддача снігу розраховується за співвідношенням (2.3) при постійній вологоємності снігу;

4) опади, які випадають у період сніготанення в твердому вигляді, додаються до запасу води в сніговому покриві;

5) дощі, які випадають на сніг, прирівнюються до шару талої води.

Розподіл снігового покриву на кожній висотній зоні описується рівнянням вигляду

$$g(S, h) = \exp(S + S_p \ln m - h) / S_p, \quad (2.47)$$

де h – шар танення снігу, мм;

S_p - параметр, що дорівнює значенню середнього запасу води в сніговому покриві в зоні, яка повністю покрита снігом, мм;

m - параметр, що визначає похибку в виразі (2.47) для $g(S, h)$ (при $m=100$ похибка дорівнює 1%);

S - поточне значення запасу води в сніговому покриві на висотній зоні, мм.

При поверненні морозів в період танення шар мерзлої води в сніговому покриві розраховується за виразом

$$P_3(t) = 1,55 \sqrt{|-T_{\min}(t)|}, \quad (2.48)$$

де $P_3(t)$ – шар мерзлої води за t -у добу, мм;

T_{\min} - мінімальна добова температура повітря, яка визначається по

зв'язку між T_{\min} і T , °С.

Інтенсивність танення снігу і льодовиків для кожної j -ї зони (мм/д) обчислюються за формулами:

$$h_{T,j}(t) = \begin{cases} k_1 \gamma(t)(H_1 - H_j) & \text{при } H_j < H_0 \quad \text{і } S > 0 \\ 0 & \text{при } H_j \geq H_0 \quad \text{або } S = 0 \end{cases}, \quad (2.49)$$

$$h_{T.l,j}(t) = \begin{cases} k_l \gamma(t)(H_1 - H_j) & \text{при } g_{l,j} < 1 \\ 0 & \text{при } g_{l,j} = 1 \end{cases}, \quad (2.50)$$

де k_1 і k_l - коефіцієнти танення снігу і льоду, мм / (°С · д);

$g_{l,j}$ - ступінь покриття снігом льодовика j -ї зони.

Надходження дощової води h_D на ділянки зон, що звільнилися від снігу, дорівнює

$$h_{D,j}(t) = \begin{cases} P(H_1)[1 + k_2(t)(H_j - H_1) + k_3(t)(H_j - H_1)^2] & \text{при } g_j < 1 \\ 0 & \text{при } g_j = 1 \end{cases}. \quad (2.51)$$

Розрахунок водовіддачі всього басейну (у м³/с) здійснюється за формулою

$$h_B(t) = c_1 \left\{ \sum_{j=1}^N [h_T(t) f_j g_j + h_{D,j}(t) f_j (1 - g_j) + h_{T.l,j} f_{l,j} (1 - g_{l,j})] \right\}, \quad (2.52)$$

де c_1 - коефіцієнт розмірності ($c_1 = 0,0116$);

f_j - площа j -ї висотної зони без льодовиків, км²;

$f_{l,j}$ - площа льодовиків у межах j -ї зони, км²;

N - кількість висотних зон.

Розрахунок втрат і трансформації водовіддачі в гідрограф стоку. В гірському басейні *втрати води* протягом весняно-літнього водопілля обчислюються з урахуванням сумарної водовіддачі з початку танення

$$I(t) = h_B(t) \exp \left[-\alpha_1 S_0 \int_0^t q(\tau) d\tau \right], \quad (2.53)$$

де S_0 - середньозважені для водозбору запаси води в сніговому покриві перед початком сніготанення (весняного водопілля), розраховані за запасами для кожної висотної зони, мм;

α_1 - параметр, що визначається шляхом оптимізації.

Вираз (2.53) показує, що у горах має місце збільшення коефіцієнта стоку талих вод з висотою (пропорційно інтегральному значенню надходження води) до моменту t , при просуванні (в міру розвитку водопілля) фронту танення снігу у верхні зони. Зменшення коефіцієнта стоку рідких опадів по поверхні водозбору, що звільнюється від снігу, враховується завдяки уповільненню зростання загального коефіцієнта стоку (талих і дощових вод).

При розрахунку гідрографів стоку гірських річок розрахунок *випаровування* здійснюється з поверхні кожної висотної зони (за даними температури повітря і опадів), використовуючи формули Т.С.Абальян, В.М.Мухіної, А.Я.Полуніна.

Надходження тало-дощової води до руслової мережі обчислюється за виразом

$$q(t) = h_B(t) - I(t). \quad (2.54)$$

Вважається, що надходження води $q(t)$ проходить через дві регулюючі ємності. Розрахунок витрат води здійснюється за такою формулою:

$$Q(t + \delta) = a_{1,\delta} X + a_{2,\delta} Z + b_{1,\delta} [0,5q(t + \delta - 2) - 2q(t + \delta - 1)] + b_{2,\delta} q(t + \delta), \quad (2.55)$$

де
$$X = \begin{cases} Q(t + \delta - 2) & \text{при } \delta = 1 \text{ і } 2 \\ \hat{Q}(t + \delta - 2) & \text{при } \delta = 2 \end{cases}; \quad (2.56)$$

$$Z = \begin{cases} Q(t) & \text{при } \delta = 1 \\ \hat{Q}(t + \delta - 2) & \text{при } \delta > 1 \end{cases}, \quad (2.57)$$

Q – фактична витрата води, без урахування базисного стоку, м³/с;

\hat{Q} - розрахована витрата води, м³/с;

$a_{1,\delta}, a_{2,\delta}, b_{1,\delta}, b_{2,\delta}$ - параметри, які визначаються для кожної завчасності прогнозу за архівними даними;
 t - момент складання прогнозу;
 δ - завчасність прогнозу.

Блок-схема математичної моделі для прогнозу гідрографа весняного водопілля гірських річок САРНДГМІ (автор Ю.М. Денисов) представлена на рис.2.4.

2.3.2 Визначення параметрів та констант моделі

Модель включає в себе дві групи параметрів, що визначаються:

- за даними спостережень за опадами, температурою повітря, сніговим покривом;
- підбором шляхом оптимізації.

Визначення параметрів першої групи.

Значення параметрів k_2 і k_3 в формулі (2.42) залежать від нахилу і кривизни зв'язку середньобогаторічних величин місячних сум опадів з висотою (для кожного місяця року). Знак параметра k_3 визначає напрямок опуклості кривої цього зв'язку. Річний хід параметрів k_2 і k_3 апроксимується рівняннями вигляду

$$k_i = k_{i,0} + A_i \cos[2\pi(t - \tau_i)/365], \quad (2.58)$$

де t - час від початку календарного року;

$k_{i,0}$ - середні за рік значення параметрів k_2 і k_3 ;

A_i - амплітуда i -ї косинусоїди;

τ_i - номер дня з максимальним значенням параметра k_2 або k_3 .

Авторами В.М.Мухіною і А.Я.Полуніним описані способи визначення параметрів $k_{2,0}, k_{3,0}, A_2, A_3, \tau_2$ і τ_3 в рівнянні (2.48).

Одержання параметрів a, c, γ_0 і τ_0 в рівнянні (2.43) відбувається графічним шляхом за хронологічним графіком внутрішньорічного ходу вертикального градієнта температури повітря $\gamma(t)$ (див. рис. 2.3). Параметр c - масштабний коефіцієнт, який обчислюється за допомогою кривої $\gamma(t)$ при відомих значеннях решти параметрів за виразом

$$c = (t - \tau_0)^2 [\gamma(t) - \gamma_0] / \{(a - [\gamma(t) - \gamma_0])a^2\}, \quad (2.59)$$

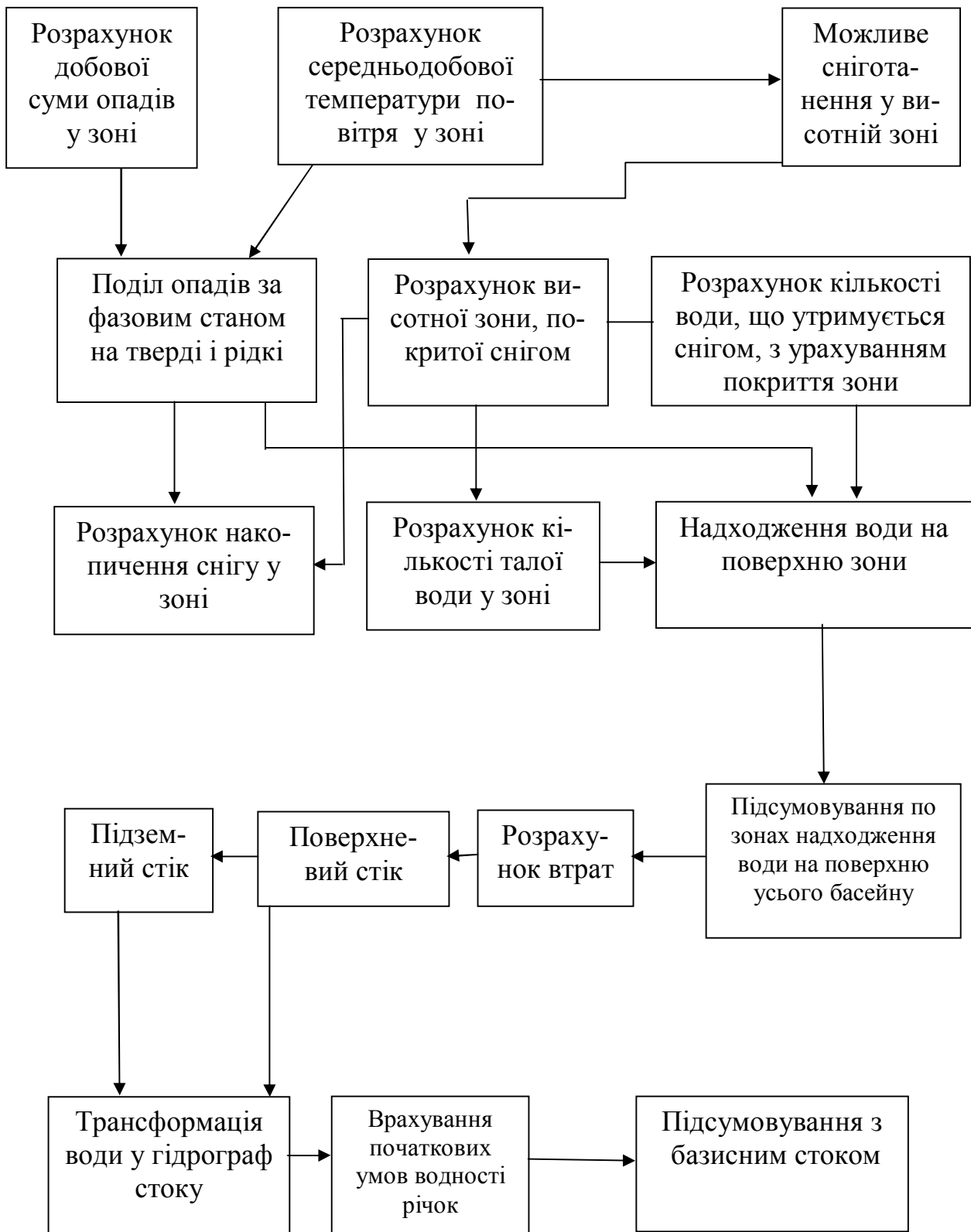


Рисунок 2.4 – Блок-схема моделі формування тало-дощового стоку в басейні гірської річки

Параметр S_p в рівнянні (2.47) є кутом нахилу ліній зв'язку (для кожної зони) між середніми запасами води в сніговому покриві зони \bar{S} і ступенем її покриття снігом $q(\bar{S})$

$$S = S_p q(\bar{S}) \quad (2.60)$$

і залежить від розчленованості рельєфу. Залежність (2.60) правильна в межах зміни $0 \leq \bar{S} \leq S_p$.

Водоутримуюча спроможність снігу, а також коефіцієнти танення снігу k_1 і льоду k_l задаються за літературними джерелами або за підбором (параметр k_1 змінюється в межах 2,0-6,5 мм/(°С·д).

Визначення параметрів другої групи.

Шляхом оптимізації визначаються параметри моделі при розрахунках трансформації і втрат води на гірському водозборі при визначенні критерію якості.

Так, при оптимізації параметра α_1 в рівнянні (2.53) його значення повинні бути в діапазоні $\alpha_1 \geq 0$.

Уточнення на 1-2 доби прогнозованих витрат води з урахуванням попереднього ходу середньої добової температури повітря здійснюється шляхом застосування корекції.

Контрольні запитання до практичного завдання 2

- Перелічіть основні блоки в математичній моделі Гідрометцентру СРСР для короткострокового прогнозу гідрографа весняного водопілля рівнинних річок.
- У чому відмінність різних варіантів моделі Гідрометцентру СРСР?
- Яку розрахункову модель покладено в розрахунок трансформації водовіддачі в гідрограф стоку у замикаючому створі в цій моделі?
- Визначення параметрів моделі Гідрометцентру СРСР.
- Які основні особливості математичної моделі для прогнозу гідрографа річкового стоку В.І.Кореня і В.О.Бельчикова?
- Як і де утворюється водонепроникний шар ґрунту? Які його особливості? Як його врахувати при розрахунках поверхневого стоку?
- Перелічіть основні блоки в математичній моделі для прогнозу гідрографа весняного водопілля гірських річок (модель САРНДГМІ, автор Ю.М. Денисов).
- Як виконується опис параметрів моделі?

Перелік літератури до практичного завдання 2

1. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам: Учебное пособие. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 390 с.
2. Руководство по гидрологическим прогнозам. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. – Л.: Гидрометеиздат. – Вып. 2. – 1989. – 246с.
3. Наставление по службе прогнозов. – Вып.3, ч.1,Л.: Гидрометеиздат. – 1962. – 194 с.
4. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. – Київ.: Український гідрометеорологічний центр, 2012. – 120 с.
5. Руководство по гидрологической практике. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения. – Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО - №168). – Пятое изд. 1994. – 844 с.

Практичне завдання №3

3. Реалізація моделі довгострокових територіальних прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля при використанні комп'ютерного комплексу „Прип'ять”

Мета роботи: ознайомлення з моделлю довгострокових територіальних прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля на основі використання дискримінантної моделі в басейні р. Прип'ять та випуск прогнозу, його оцінка при використанні програмного комп'ютерного комплексу «Прип'ять».

Завдання:

- одержання вихідної гідрометеорологічної інформації з бази даних Українського гідрометцентру, що сформована в автоматизованій системі АРМ-гідро;
- формування бази вихідних даних;
- випуск довгострокового прогнозу максимальних витрат та рівнів води весняного водопілля в басейні р. Прип'ять;
- картографічна форма представлення прогнозних величин та ймовірності їх настання у багаторічному розрізі;
- здійснення оцінки прогнозу.

Вихідні дані, що використовуються в моделі:

- морфометричні характеристики басейнів та середньобагаторічні гідрометеорологічні величини;
- щорічні дані гідрологічних, метеорологічних та агрометеорологічних спостережень на метеостанціях і гідрологічних постах в басейнах рр. Прип'ять, Уж, Тетерів, Ірша, Ірпінь, Рось.

Розв'язання:

3.1 Теоретичні положення

Методика прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля
Методика прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Прип'ять та деяких інших річок правобережжя Середнього Дніпра базується на регіональних залежностях максимального модуля весняного водопілля від максимальних запасів води в сніговому покриві і опадів періоду сніготанення, виражених в модульних коефіцієнтах

$$\frac{q_m}{q_0} = f\left(\frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{10}}\right), \quad (3.1)$$

або

$$k_q = f(k_X), \quad (3.2)$$

де q_m і q_0 - максимальний модуль весняного водопілля і його норма;
 S_m і S_0 - максимальний запас води в сніговому покриві перед початком весняного сніготанення і його норма,

X_1 і X_{1_0} - опади періоду сніготанення та їх норма,

k_q - модульний коефіцієнт максимальних витрат води весняного водопілля,

k_X - модульний коефіцієнт сумарної кількості талої та дощової води, що утворюють максимальну витрату води водопілля.

Приклад залежностей (3.1) чи (3.2) показаний на рис.3.1, який вказує на угруповання, які відповідають утворенню різних за висотою водопіль, наприклад, високих, середніх чи низьких.

Довгостроковий прогноз максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Прип'ять та деяких інших річок правобережжя Середнього Дніпра включає такі етапи.

1. Для встановлення типу водності весняного водопілля використовується дискримінантна модель вигляду

$$DF = a_0 + a_1 \frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{1_0}} + a_2 \frac{Q_{nv}}{(Q_{nv})_0} + a_3 \frac{L}{L_0} + a_4 \theta_{02}^o, \quad (3.3)$$

де $A = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_m)$ - вектор коефіцієнтів дискримінантної функції;

$(S_m + X_1)$ і $(S_m + X_{1_0})$ - сума максимальних запасів води в сніговому покриві та рідких опадів періоду весняного сніготанення і середньобаторічна величина сумарного надходження води на водозбір у період весняного сніготанення, мм;

Q_{nv} і $(Q_{nv})_0$ - середня витрата води i -го місяця (січня, лютого або березня) перед водопіллям та її середньобаторічна величина, м³/с;

L і L_0 - глибина промерзання ґрунтів та її середньобаторічна величина, см;

θ_{02}^o - температура повітря лютого, °С.

Коефіцієнти дискримінантних рівнянь відповідають районуванню території за виглядом параметрів прогностичної схеми (рис.3.2).

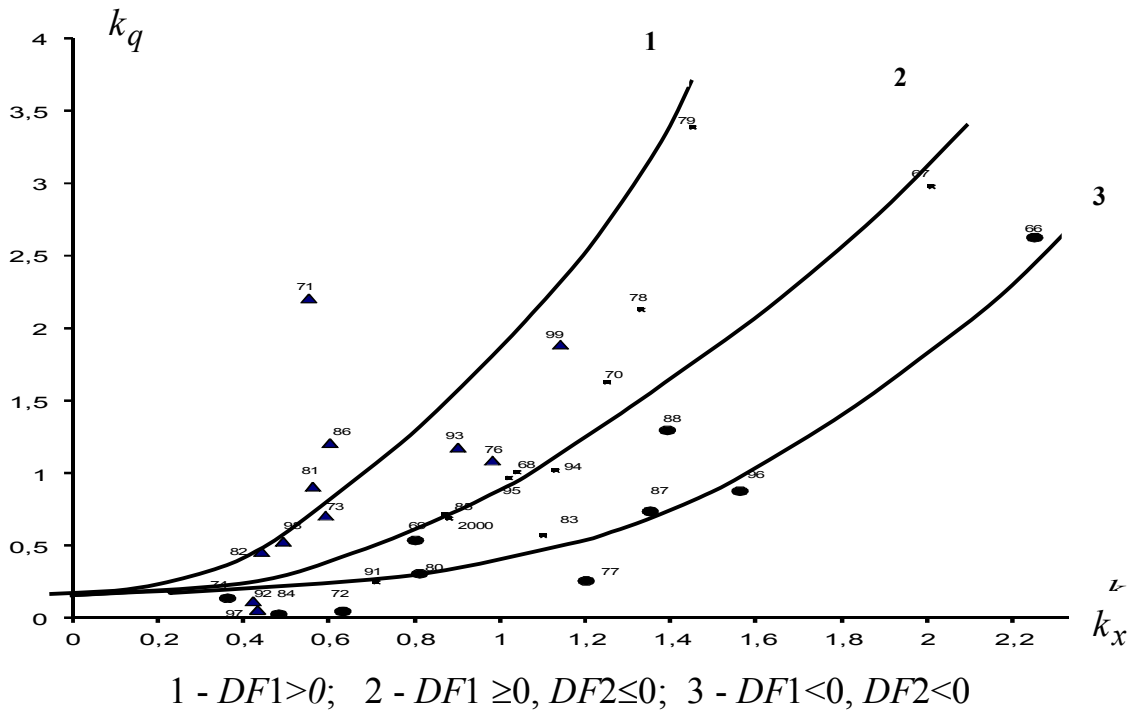


Рисунок 3.1 - Залежність максимальних модульних коефіцієнтів весняного водопілля від модульних коефіцієнтів запасів вологи на басейні для району 1 (дані відносяться до басейну р. Прип'ять – с. Люб'язь)

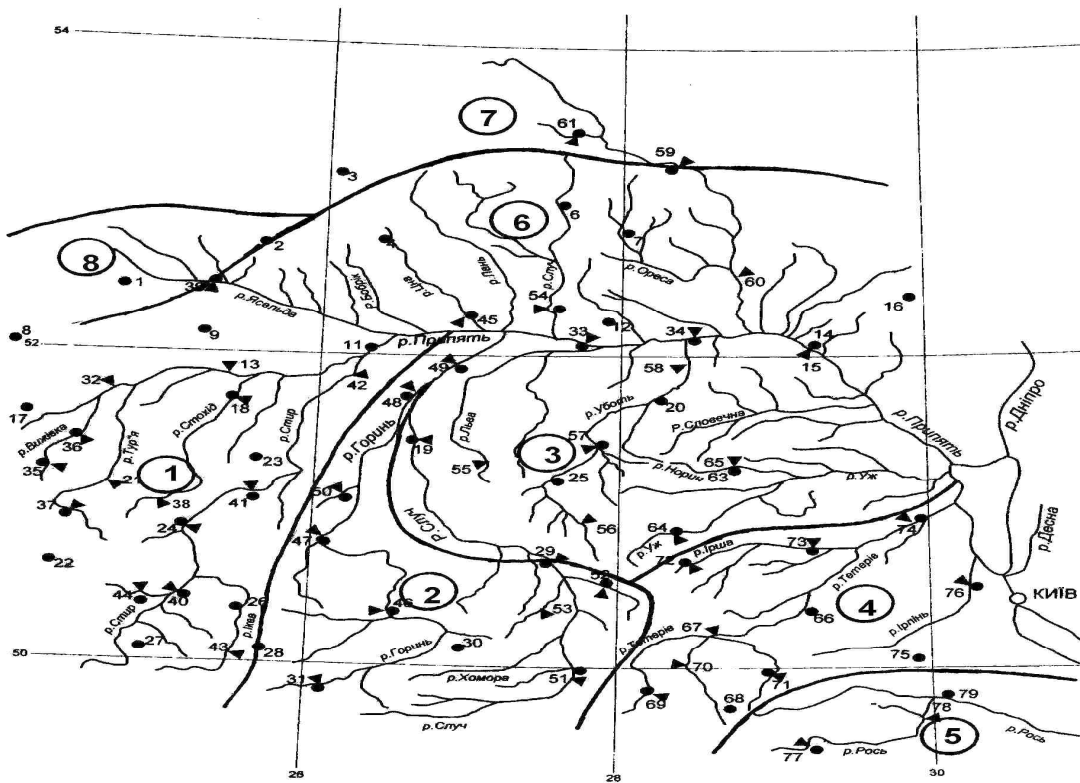


Рисунок 3.2 – Районування території за типом дискримінантних рівнянь при встановленні типу водності весни

В табл.3.1 надані коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій $DF1$ і $DF2$ виду (3.3) при прогнозуванні типу водності весняного водопілля відповідно до району, де розташований річковий водозбір.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій (3.1) при прогнозуванні типу водності весняного водопілля

Номер району	Річка-пост	DF	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
1	Прип'ять до Люб'язь, Тур'я, Стохід, Стир, лівобережжя Прип'яті	$DF1$	-0.15	-7.45	4.75	2.04	-0.21
		$DF2$	-0.43	-1.74	7.98	-3.00	-0.84
2	Горинь, Случ до Новгород-Волинського	$DF1$	0.07	-11.4	-0.66	15.5	1.71
		$DF2$	-1.00	-11.0	1.04	14.1	-0.15
3	Случ-Сарни, Уборть, Уж, Норин	$DF1$	1.48	-6.09	8.27	1.43	0.38
		$DF2$	-0.69	1.01	-5.58	-1.37	-1.13
4	Тетерів-Житомир, Ірша, Ірпінь	$DF1$	0.47	-17.3	5.70	10.0	-0.50
		$DF2$	-1.34	-6.11	10.6	-3.06	-0.31
5	Рось	$DF1$	0.31	-19.7	3.02	12.6	-0.09
		$DF2$	-0.55	-14.5	2.84	15.9	-0.14

Знак дискримінантних рівнянь (більше або менше нуля) на річках території дозволяє передбачити можливість формування максимальних витрат води весняного водопілля – вищими, близькими або нижчими за середньобагаторічні їх величини.

2. Враховуючи знак дискримінантних рівнянь, прогнозні залежності (3.1) представляються поліномом 3-го степеня, тобто

$$k_q = \frac{q_m}{q_0} = b_0 + b_1 \frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{1_0}} + b_2 \left(\frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{1_0}} \right)^2 + b_3 \left(\frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{1_0}} \right)^3, \quad (3.4)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти полінома при прогнозі максимальних витрат води весняного водопілля.

Коефіцієнти полінома (3.4) за умов застосування кривих за ознаками $DF1$ і $DF2$ надані у табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти прогностичних рівнянь поліномів (3.4) при прогнозуванні максимальних витрат води весняного водопілля

Номер району	Басейни річок	b_0	b_1	b_2	b_3	Умови застосування рівнянь поліномів (3.4)
1, 2	Правобережжя Прип'яті (Прип'ять до Люб'язь, Тур'я, Стохід, Стир, Горинь, Случ, Уборть), лівобережжя Прип'яті	0.059 0.083 0.030	0.062 -0.44 -0.12	1.43 1.25 0.26	0.24 -0.13 0.10	$DF1 > 0$ $DF1 \leq 0; DF2 \geq 0$ $DF1 < 0; DF2 < 0$
3	Уж, Норин	0.041 0.043 0.030	-0.20 -0.34 -0.12	1.30 0.89 0.26	0.14 -0.059 0.10	$DF1 > 0$ $DF1 \leq 0; DF2 \geq 0$ $DF1 < 0; DF2 < 0$
4	Тетерів, Ірша, Ірпінь	0.23 0.074 0.12	-1.44 -0.18 -0.40	3.40 0.36 0.34	-0.89 0.30 0.16	$DF1 > 0$ $DF1 \leq 0; DF2 \geq 0$ $DF1 < 0; DF2 < 0$
5	Рось	0.016 -0.066 -0.026	0.24 1.30 0.44	-0.52 -2.99 -0.95	1.86 2.08 0.60	$DF1 > 0$ $DF1 \leq 0; DF2 \geq 0$ $DF1 < 0; DF2 < 0$

3. За визначеними при прогнозі значеннями максимальних модульних коефіцієнтів k_q можна розрахувати і прогностні максимальні витрати води, як

$$Q_m = k_q \cdot q_0 \cdot F = k_q \cdot Q_0, \quad (3.5)$$

де F – площа водозбору, км²;
 $q_0(Q_0)$ – середньобаторічна величина максимального модуля (м³/(с·км²) або витрати води (м³/с) водопілля, яка визначається як середнє багаторічне значення за наявності тривалих спостережень на річках за формулою вигляду

$$q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n q_{m_i}}{n}, \quad (3.6)$$

q_{m_i} - максимальні модулі водопілля i -х років;

n – кількість років спостережень.

За обмеженості чи відсутності гідрологічних спостережень на річках середньобогаторічна величина максимального модуля весняного водопілля розраховується за моделлю типового редуційного гідрографа вигляду

$$q_0 = q'_0 \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \cdot r, \quad (3.7)$$

де q_0 – середній багаторічний модуль максимального стоку, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$;

q'_0 – середній багаторічний модуль максимальної витрати води схилового припливу, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$;

$\psi(t_p / T_0)$ - трансформаційна функція розпластування повеневих хвиль під впливом руслового добігання;

ε_F - коефіцієнт русло-заплавного регулювання;

r – коефіцієнт трансформації водопілля під впливом озер і водосховищ руслового типу.

Згідно з

$$q'_0 = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_0 = k_0 Y_0, \quad (3.8)$$

де $(n+1)/n$ - коефіцієнт нерівномірності схилового припливу у часі;

T_0 – тривалість схилового припливу, год;

Y_0 – середній багаторічний шар стоку весняного водопілля, мм;

k_0 – коефіцієнт схилової трансформації.

Шар стоку весняного водопілля Y_0 визначений як середньобогаторічне його значення. Для не вивчених у гідрологічному відношенні річок встановлення величини Y_0 здійснюється по карто-схемі середньобогаторічних шарів стоку весняного водопілля по досліджуваній території (рис.3.3).

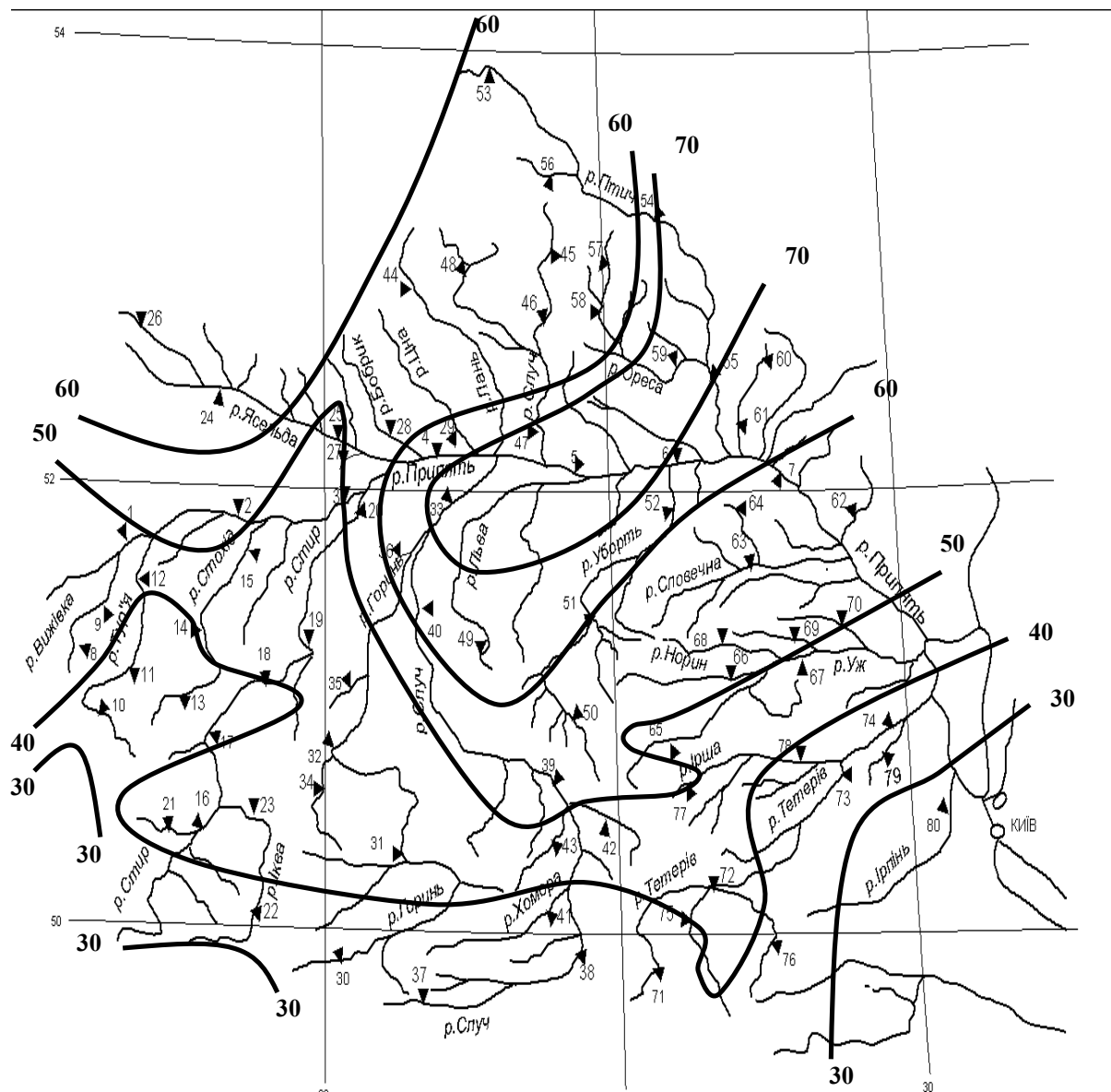


Рисунок 3.3 – Розподіл по території середніх багаторічних величин шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять, мм

Значення тривалості схилового припливу тало-дощових вод T_0 також визначаються по карто-схемі розподілу T_0 в басейні Прип'яті та правих приток Середнього Дніпра (рис.3.4).

Для оцінки забезпеченості прогнозних величин максимальних витрат води весняного водопілля використовується крива трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля (для середнього по території значення $(C_s/C_v)_{Q_m}=2,0$) [3].

Коефіцієнт варіації максимальних витрат води водопілля $(C_v)_{Q_m}$ можна визначити в залежності від широти геометричних центрів водозборів φ^0 півн.ш. як

$$(C_v)_{Q_m} = 0.84 - 0.056(\varphi^0 - 50). \quad (3.10)$$

Забезпеченість прогнозних величин Q_m встановлюється у вигляді інтервалу

$$P_1 < P_{Q_m} < P_2, \quad (3.11)$$

де P_1 і P_2 – верхня та нижня межі забезпеченості, %, які встановлюються за табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Ординати кривої трипараметричного гама-розподілу $(C_s/C_v = 2.0)$

$P, \%$	C_v									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.5	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20	3.68	4.19	4.74	5.30
1	1.25	1.52	1.82	2.16	2.51	2.89	3.29	3.71	4.15	4.60
3	1.20	1.41	1.64	1.87	2.13	2.39	2.66	2.94	3.21	3.51
5	1.17	1.35	1.54	1.74	1.94	2.15	2.36	2.57	2.78	3.00
10	1.13	1.26	1.40	1.54	1.67	1.80	1.94	2.06	2.19	2.30
20	1.08	1.16	1.24	1.31	1.38	1.44	1.50	1.54	1.58	1.61
30	1.05	1.09	1.13	1.16	1.19	1.21	1.22	1.22	1.22	1.20
40	1.02	1.04	1.05	1.05	1.01	1.03	1.01	0.98	0.96	0.92
50	1.00	0.99	0.97	0.95	0.92	0.89	0.85	0.80	0.75	0.69
60	0.97	0.94	0.90	0.85	0.80	0.75	0.69	0.63	0.57	0.51
70	0.94	0.89	0.82	0.76	0.69	0.62	0.55	0.49	0.42	0.36
75	0.93	0.86	0.78	0.71	0.63	0.56	0.49	0.42	0.35	0.29
80	0.92	0.83	0.74	0.66	0.57	0.50	0.42	0.35	0.28	0.22
90	0.87	0.75	0.64	0.53	0.44	0.35	0.27	0.21	0.15	0.10
95	0.84	0.70	0.56	0.45	0.34	0.26	0.18	0.12	0.08	0.05
97	0.82	0.66	0.52	0.39	0.29	0.20	0.14	0.09	0.05	0.03
99	0.78	0.59	0.44	0.30	0.21	0.13	0.08	0.04	0.02	0.01

5. Просторове представлення прогностичних величин максимальних модульних коефіцієнтів весняного водопілля та їх забезпеченості.

Побудова карто-схем модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку здійснюється для опорних створів, по яких ведеться прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля. Для цього до геометричних центрів тяжіння водозборів відносяться прогнозні значення модульних коефіцієнтів k_q і проводяться ізолінії розподілу величини по території. При побудові карт ізоліній необхідно аналізувати можливу зміну максимальних модульних коефіцієнтів по території в залежності, наприклад, від картографічного розподілу такого важливого фактора водопілля, як максимальні запаси води в сніговому покриві.

Одночасно з цим складаються й карто-схеми забезпеченості прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля у багаторічному розрізі. При цьому відокремлюються території з однаковими значеннями $P\%$.

6. Прогнози максимальних рівнів води весняних водопіль (H_m) здійснюються по очікуваних максимальних витратах води (Q_m) за кривими витрат води по окремих гідрологічних постах, тобто

$$Q = f(H). \quad (3.12)$$

Довгостроковий прогноз H_m складається по опорних гідрологічних створах при прогнозуванні максимуму зимового паводка та весняного водопілля.

7. Оцінка якості довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Прип'ять

Згідно «Настанові по службі прогнозів» [4] оцінка прогнозу зводиться до визначення справджуваності даного прогнозу шляхом співставлення похибки прогнозу з допустимою похибкою.

Прогноз вважається *справджуваним*, якщо абсолютна величина його похибки менша або дорівнює допустимій

$$\delta \leq \delta_{\text{дон}}. \quad (3.13)$$

Похибка прогнозу - це різниця між фактичним значенням величини Y_i та значенням, отриманим у прогнозі Y'_i

$$\delta = Y_i - Y'_i. \quad (3.14)$$

Таким чином, **допустима похибка прогнозу** $\delta_{\text{дон}}$ - це ймовірне відхилення прогнозної величини від середньобагаторічного значення (норми) гідрологічної величини.

При довгострокових прогнозах водного режиму (прогноз максимальних витрат води весняного водопілля). Визначення $\delta_{\text{дон}}$ за відбувається звичайно

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0.674 \cdot \sigma \quad (3.15)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення зміни прогнозованої величини від середньо багаторічного її значення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}}, \quad (3.16)$$

де Y_i – значення гідрологічної величини;

\bar{Y} – середнє багаторічне значення гідрологічної величини (норма);

n – кількість членів ряду.

Для невивчених у гідрологічному відношенні річок величина допустимої похибки прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля в басейні річки Прип'ять $\delta_{\text{дон}}$ (м³/с), визначається в залежності від площ водозборів (F , км²) у вигляді

$$\delta_{\text{дон}} = 0.0147 \cdot F. \quad (3.17)$$

3.2 Порядок розрахунків за програмним комп'ютерним комплексом «Прип'ять»

Для складання оперативних прогнозів максимальних витрат (рівнів) води весняного водопілля та зимових паводків, встановлення їх ймовірнісних оцінок в басейні р. Прип'ять та невеликих правих приток Дніпра використовується комп'ютерний комплекс «Прип'ять». На основі використання розробленого комплексу дана схема прогнозу максимальних витрат води водопілля на прикладі 2010 р.

- Програмний комплекс дозволяє в автоматичному режимі складати прогнози максимальних витрат (рівнів) води, визначати їх забезпеченість у багаторічному розрізі, а також прогнозувати дати початку та проходження максимальних витрат води весняного водопілля (рис 3.5).



Рисунок 3.5 - Діалогове вікно комп'ютерної програми «Прип'ять»

Рис.3.5 включає такі основні етапи:

- створення комп'ютерної бази вихідних даних: карто-схем басейнів, базової та оперативної інформації;
- розрахунок факторів для весняного водопілля та періоду зимових відлиг;
- складання прогнозу максимальних витрат (рівнів) води весняного водопілля та зимових паводків;
- визначення забезпеченості прогнозних величин; прогноз дат початку та максимальних витрат (рівнів) води весняного водопілля;
- виконання оцінки прогнозних величин відносно їх відхилення від середніх багаторічних значень та спостережених величин;
- методика довгострокового прогнозу максимальних витрат води водопілля по розрахованих за програмою прогнозних значеннях дає змогу:
- картографічного представлення очікуваних максимальних модульних коефіцієнтів та їх забезпеченості, термінів проходження водопілля шляхом побудови карто-схем комп'ютерними засобами;
- отримання з карти прогнозних значень максимальних модульних коефіцієнтів k_{q_m} будь-яких гідрологічних постів (для центра тяжіння водозборів);
- розрахунок максимальних витрат води водопілля на основі визначення норм максимальних модулів стоку q_0 : для річок, по яких є багаторічні спостереження за стоком, q_0 визначаються за середніми арифметичними значеннями максимальних витрат води весняного водо-

пілля цього періоду за (3.6); для річок, по яких немає тривалих гідрологічних спостережень, q_0 визначається з моделі типових одномодальних гідрографів водопілля за рівнянням (3.7) та рекомендаціями щодо визначення його складових, що надані у розд. 3.1.

Складання просторового довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Прип'ять та невеликих правих приток Дніпра розглядається на прикладі 2010 р. і реалізується відповідно до етапів блок-схеми, представленої на рис. 3.6.

3.2.1 Організація комп'ютерної бази вихідних даних

Організація бази даних для складання довгострокового прогнозу максимальних витрат (рівнів) води зимово-весняного періоду в басейні Прип'яті включає базову та оперативну вихідну інформацію у поточному році, для якого складається прогноз.

Базова вихідна інформація включає:

1. Карто-схеми:
 - гідрометеорологічної мережі (рис.3.7);
 - середньобагаторічних величин шарів стоку весняного водопілля Y_0 (рис.3.3);
 - тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі T_0 (рис.3.4);
2. Таблиці морфометричних і середньобагаторічних гідрометеорологічних величин:
 - по опорних гідрологічних постах, для яких складається прогноз максимальних витрат (рівнів) води за даними гідрометеорологічних спостережень;
 - по гідрологічних постах, для яких складається прогноз максимальних витрат (рівнів) води за картами прогнозних величин максимальних модульних коефіцієнтів.
3. Таблиці прогнозної схеми:
 - діючих метеорологічних станцій і постів, висота і географічна широта станцій (рис.3.8);
 - ординати кривих витрат води $Q = f(H)$ по опорних гідрологічних постах;
 - ординати трипараметричного гама-розподілу С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля (при $C_s / C_v = 2.0$) за табл.3.3;
 - коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій (табл.3.1);
 - коефіцієнти рівнянь поліномів (табл.3.2).

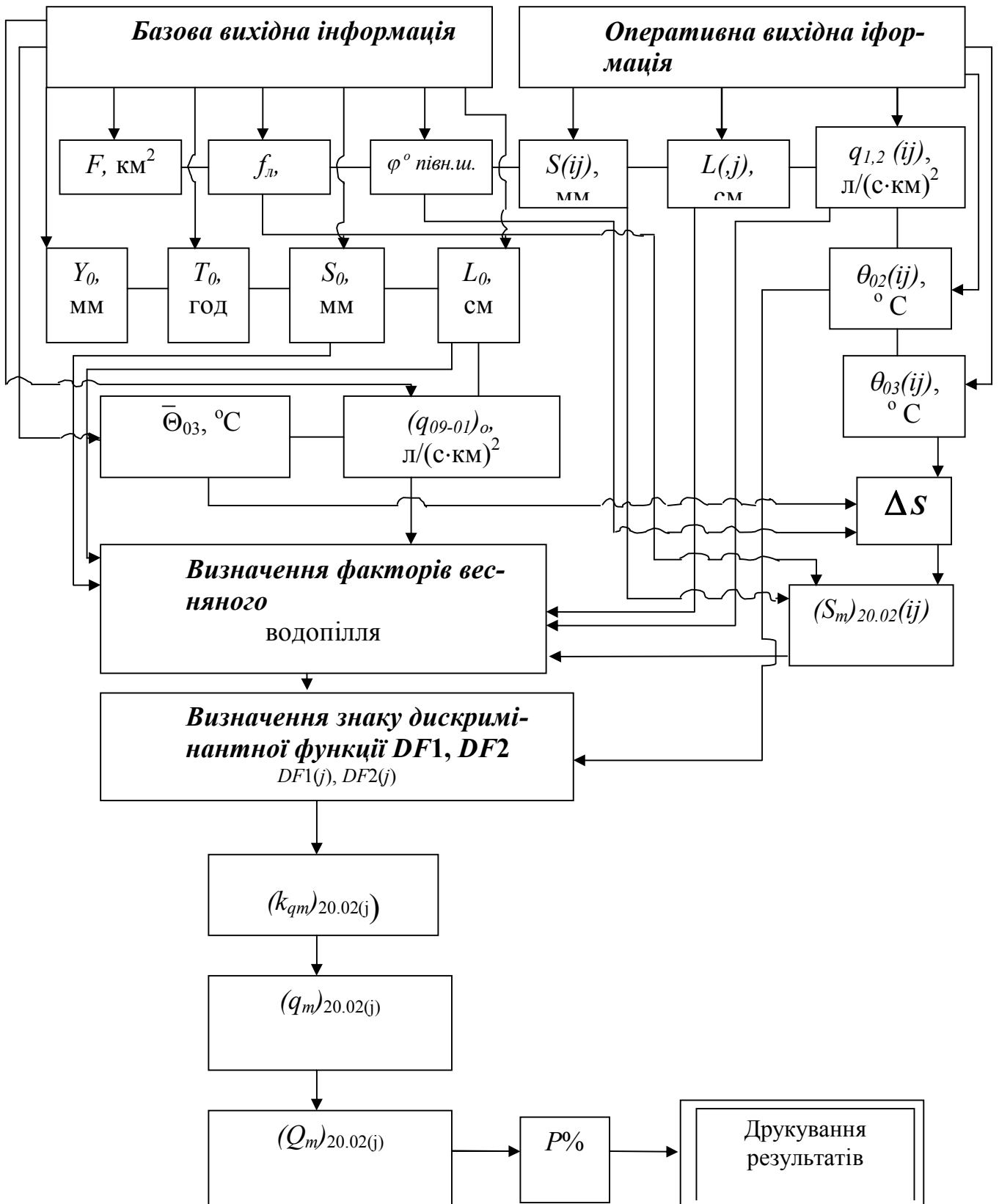


Рисунок 3.6 - Блок-схема програми для довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля в дату 20 лютого

Вигляд діалогового вікна програми «Ввод и редактирование данных» при введенні базової інформації показаний на рис.3.8.

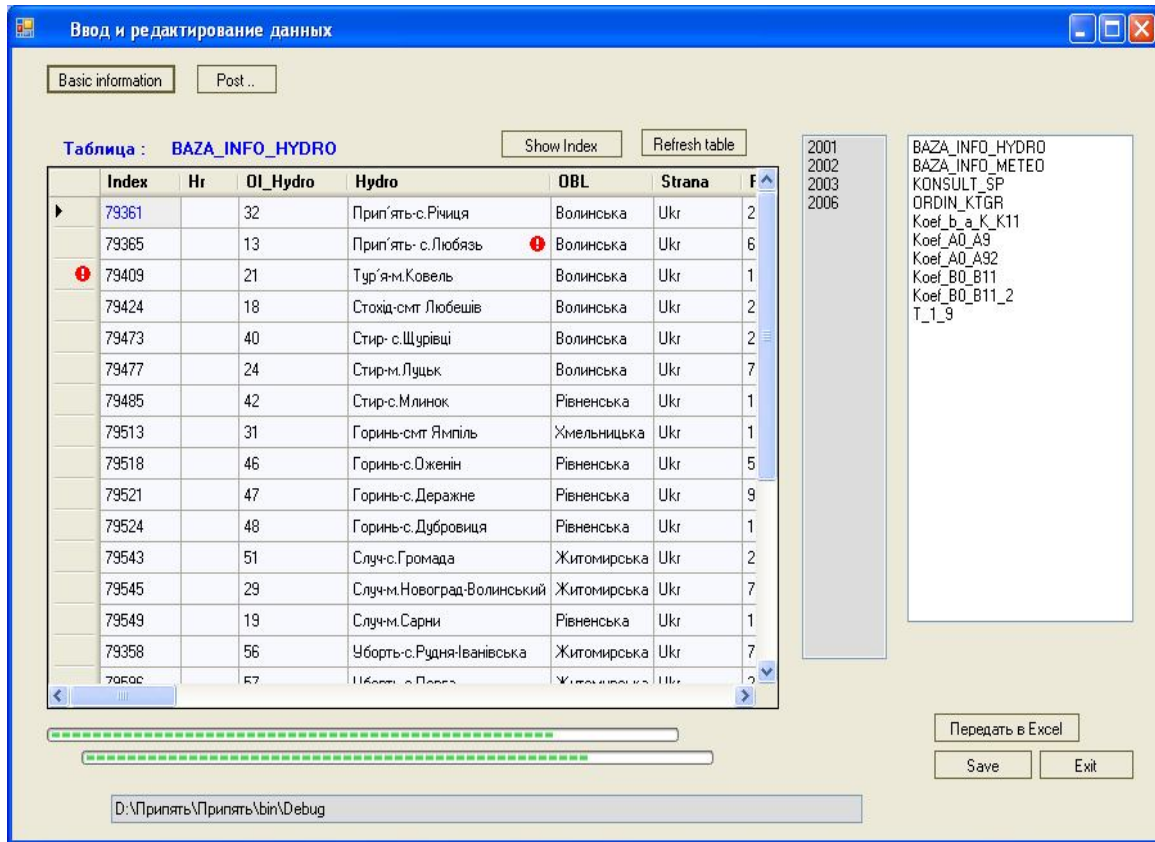


Рисунок 3.8 - Вигляд діалогового вікна «Ввод и редактирование данных» при натисненні кнопки «Базовая информация»

Оперативна гідрометеорологічна інформація включає:

- гідрологічну інформацію по опорних гідрологічних постах в поточному році;
- гідрологічну інформацію по гідрологічних постах при прогнозі максимальних витрат води весняного водопілля по картах максимальних модульних коефіцієнтів в поточному році;
- метеорологічну інформацію за даними станцій і постів в поточному році.

Вигляд діалогового вікна програми «Ввод и редактирование данных» при введенні оперативної гідрологічної інформації показаний на рис. 3.9.

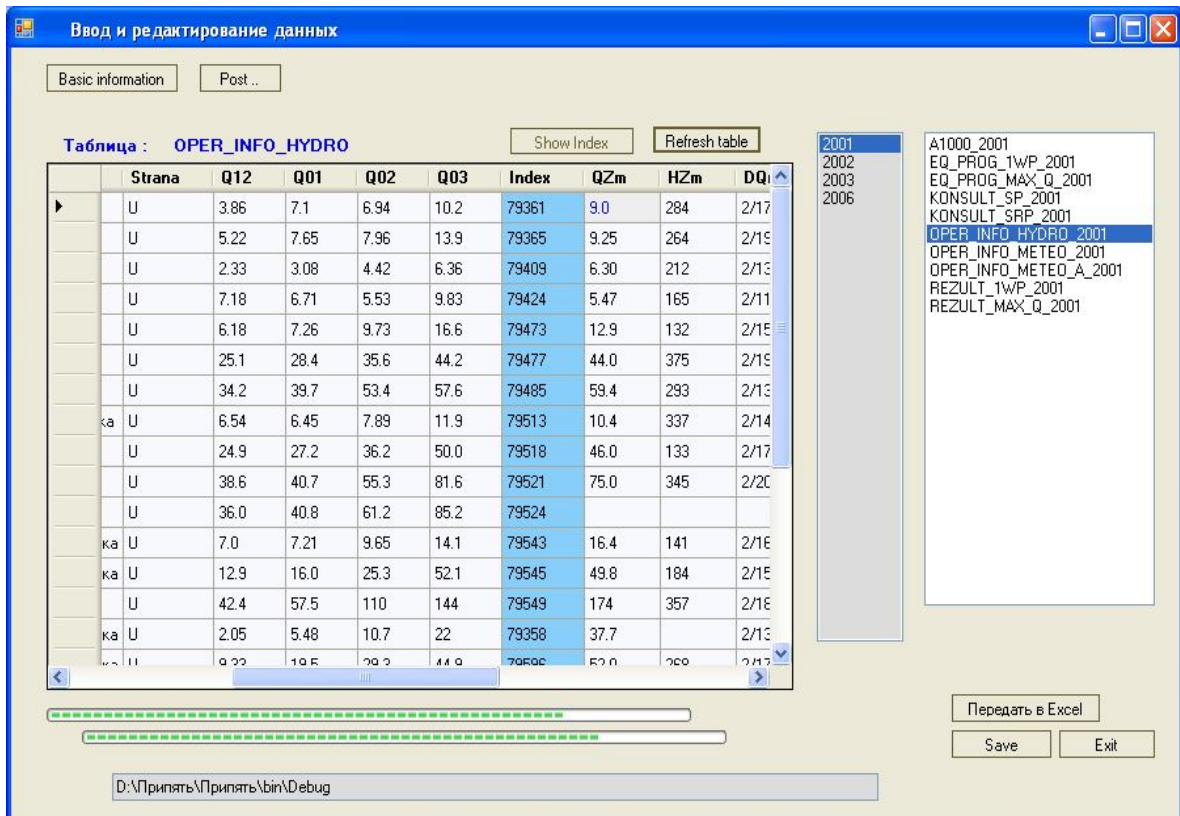


Рисунок 3.9 - Вид діалогового вікна «Ввод и редактирование данных» при натисненні кнопки «Оперативная гидрологическая информация»

Порядок введення вихідної гідрометеорологічної інформації

Введення оперативної гідрометеорологічної інформації в поточному році відбувається в міру надходження даних:

1) метеорологічних спостережень:

- про запаси води в сніговому покриві на кінець кожної пентади, починаючи з 20 січня, а також максимальні снігозапаси за даними метеостанцій і постів;
- про суми опадів за декаду, починаючи з третьої декади січня за даними метеостанцій і постів;
- про глибини промерзання ґрунтів на кінець кожної декади, починаючи з першої декади січня, а також максимальні глибини промерзання ґрунту за даними метеостанцій;
- про середньодекадні температури повітря, починаючи з першої декади січня за даними метеостанцій;

2) гідрологічних спостережень по опорних гідрологічних постах:

- середньомісячні витрати води в грудні, січні, лютому, березні;

- максимальні витрати та рівень води зимового паводку та дата їх спостереження (для оцінки оперативного прогнозу);
- витрата води перед весняним водопіллям за наявності зимового паводка;
- номер місяця перед весняним водопіллям для визначення передпобовної середньомісячної витрати води при стійкій зимовій межні;
- добавка до максимальних снігозапасів (при необхідності їх введення вручну);
- дата початку водопілля (для оцінки оперативного прогнозу);
- дата максимальної витрати води весняного водопілля (для оцінки оперативного прогнозу);
- максимальна витрата та рівень води весняного водопілля (для оцінки оперативного прогнозу).

Визначення факторів весняного водопілля

Методи визначення гідрометеорологічних факторів, які формують максимальний стік зимово-весняного сезону включають:

1) розрахунок середніх на водозборах запасів води в сніговому покриві за формулою вигляду

$$S_{m_i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_j, \quad (3.18)$$

де S_j - максимальні снігозапаси по окремих пунктах їх виміру у межах водозбору;

m - кількість вимірювальних пунктів снігозапасів.

За відсутності даних по окремих пунктах їх встановлюють по картах розподілу снігозапасів по території. Визначення кількості снігу з врахуванням відсотка залісеності водозбору знаходиться за виразом

$$S_m = S(1 - f_n) + k_n S f_n, \quad (3.19)$$

де S - максимальні запаси води в сніговому покриві по вимірах у полі (з урахуванням запасів води в крижаній кірці), мм;

k_n - коефіцієнт снігонакопичення з урахуванням залісеності водозборів f_n (у частках одиниці).

2) визначення глибин промерзання ґрунтів. За відсутності даних по окремих пунктах виконується відновлення інформації по автоматично побудованій залежності значень глибин промерзання від широти пунктів їх виміру за рівнянням

$$L_{0j} = L_{0j(\varphi=50^{\circ})} + a_{\varphi}(\varphi^{\circ} - 50), \quad (3.20)$$

де $L_{0j(\varphi=50^{\circ})}$ - значення глибини промерзання на широті $\varphi=50^{\circ}$ півн.ш.,

a_{φ} - тангенс кута нахилу лінії зв'язку до осі абсцис.

Для рівнинної України, в тому числі й для басейну Прип'яті, $a_{\varphi} = 3.56$, а $L_{0j(\varphi=50^{\circ})} = 65.6$ см.

3) визначення індексу зволоженості басейнів

$$(k_{Q_{ns}})_i = \frac{(Q_{ns})_i}{(Q_{ns})_0}, \quad (3.21)$$

де $(Q_{ns})_i$ - середня витрата води i -го місяця, м³/с.

Для невивчених у гідрологічному відношенні річок одержані рівняння:

- для січня та лютого

$$(Q_{01,02})_0 = 0.0024 \cdot F; \quad (3.22)$$

- для березня

$$(Q_{03})_0 = 0.0046 \cdot F. \quad (3.23)$$

4) визначення середньої температури повітря в січні, лютому, березні

3.2.2 Схема складання прогнозу максимальних витрат води

Прогноз максимальних витрат води зимових паводків

Прогнозується максимальна витрата (рівень) води зимового паводка в межах i -го водозбору:

1. Дати складання прогнозу: 20.01, 25.01, 31.01, 5.02, 10.02.
2. За синоптичною консультацією інтенсивності відлиги і розрахунків визначаються суми позитивних температур повітря за наступну після ДСП декаду за табл.3.4, а також за виразом, який має вигляд

$$\sum \theta_{+kd} = b_{kd} - a_{kd}(\lambda - 25^{\circ}), \quad (3.24)$$

де λ – географічна довгота метеостанції, в частках градуса сх.д.;

k – номер місяця, в який очікується проходження відлиги;

d – номер декади, в яку очікується проходження відлиги.

Таблиця 3.4 – Значення коефіцієнтів в формулах (3.24) і (3.25)

Очікувана величина	Місяць (k) / декада (d)	b_{kd} у формулі (3.24)	a_{kd} у формулі (3.24)	c в формулі (3.25)
вища за норму	01/3	14.4	-1.75	1.9
	02/1	9.82	-0.40	
	02/2	12.6	-1.23	
на рівні норми	01/3	5.44	-0.70	0.7
	02/1	4.28	-0.25	
	02/2	4.43	-0.46	
нижча за норму	01/3	0.26	-0.06	0.18
	02/1	0.24	0.0	
	02/2	0.0	0.0	

3. За синоптичною консультацією (опаді вищі за норму, опаді близькі до норми, опаді нижчі за норму) і відповідними коефіцієнтами визначається сума опадів за відлигу за табл.3.4, та формулою

$$X'_{\text{вд}kd} = c(X_{\text{вд}0})_{kd}, \quad (3.25)$$

де $X'_{\text{вд}}$ – прогнозне значення кількості опадів за відлигу, мм;

$(X_{\text{вд}})_0$ - норма опадів за розрахункову декаду, мм;

c – коефіцієнт до норми опадів розрахункової зимової декади (значення наведені в табл.3.4);

k – номер місяця, в який очікується проходження відлиги;

d – номер декади, в яку очікується проходження відлиги.

4. Розраховується водозатримуючий шар талої води під час відлиг за виразом вигляду

$$Z = 0.13 \cdot S_{\text{вд}}. \quad (3.26)$$

5. Визначення снігозапасів перед відлигою $S_{\text{вд}}$ в (3.26) здійснюється аналогічно (3.18).

6. Розраховується шар танення снігу під час відлиги за формулою

$$h_T = a \sum \theta_+, \quad (3.27)$$

a – коефіцієнт сніготанення, прийнятий на рівні 4.5 мм/(°С·д);

$\sum \theta_+$ – сума плюсових температур повітря за відлигу, °С;

Z – шар води, який утримується в сніговому покриві на початок відлиги ($S_{\text{вд}}$), мм, при коефіцієнті водоутримуючої спроможності снігу $Z_0=0.13$ (3.26)

7. Визначається шар водовіддачі снігу під час відлиги за рівнянням

$$h_e = \begin{cases} 0, \text{ якщо } h_T \leq Z \\ \frac{h_T}{(1-Z_0)} - Z = (1.15 \cdot h_T) - Z, \text{ якщо } h_T > Z; \end{cases} \quad (3.28)$$

8. Визначається сумарна кількість тало-дощової води, що формує зимовий паводок від відлиги:

- при повному таненні снігу

$$X_3 = [S_{\text{вд}}(1 + f_l) + k_l S_{\text{вд}} f_l] + X_{\text{вд}}; \quad (3.29)$$

- при частковому таненні снігу

$$X_3 = h_e + X_{\text{вд}}, \quad (3.30)$$

де X_3 – кількість талої і дощової води, що формує зимовий паводок, мм;

$S_{\text{вд}}$ – запас води в сніговому покриві на початок відлиги, мм;

$X_{\text{вд}}$ – кількість опадів за відлигу, мм;

h_e – шар водовіддачі за відлигу, мм, який визначається за умови

h_T – інтенсивність сніготанення за період відлиги, мм

9. Розраховується модульний коефіцієнт X_3

$$k_{X_3} = X_3 / X_{3_0}, \quad (3.31)$$

де X_{3_0} - норма кількості тало-дощової води, яка бере участь у формуванні зимового паводка (визначається за багаторічними даними), мм.

10. Розраховується модульний коефіцієнт глибини промерзання ґрунтів перед зимовою відлигою за виразом

$$(k_L)_i = \frac{L_i}{L_0}, \quad (3.32)$$

де L_i - середнє по водозборі значення максимальної глибини промерзання ґрунту для i -го року, см,

L_0 - норма глибини промерзання на водозборі, см

12. Розраховується індекс зволоження басейну перед зимовою відлигою за формулою, яка має вигляд

$$(k_{Q_{ng}})_i = \frac{(Q_{ng})_i}{(Q_{ng})_0}, \quad (3.33)$$

де $(Q_{ng})_i$ - середня витрата води i -го місяця, м³/с.

13. Прогноз максимальної витрати води зимового паводка:

а) розраховуються дискримінантні рівняння (табл.3.1)

б) розраховуються максимальні модульні коефіцієнти зимового паводка (3.4) в залежності від знаку дискримінантних функцій DF за табл.3.2.

в) визначаються прогностичні значення максимальної витрати води зимового паводка за рівнянням

$$Q_{m_3} = k_{q_3} \cdot q_{3_0} \cdot F = k_{q_3} \cdot Q_{3_0}, \quad (3.34)$$

де Q_{3_0} і q_{3_0} - норма максимальної витрати води (м³/с) чи модуля (м³/с·км²) за період зимового паводка.

14. Прогнозна максимальна витрата води Q_{m_3} представляється як найбільш ймовірне її значення, отримане за методикою, так і у вигляді інтервалу прогнозних Q'_{m_3} у 20%-му діапазоні допустимої похибки.

15. Визначається інтервал забезпеченості (ймовірності) настання максимальних витрат води зимового паводка у багаторічному розрізі, як за даними табл.3.3, так і за виразом

$$P_1 < P_{Q_m} < P_2, \quad (3.35)$$

де P_1 і P_2 - верхня та нижня межі забезпеченості, %, які встановлюються за табл. 3.3.

Результати прогнозів максимальних витрат води зимового паводка представляються в комп'ютерному комплексі у вигляді ділового вікна, показаного на рис. 3.10.

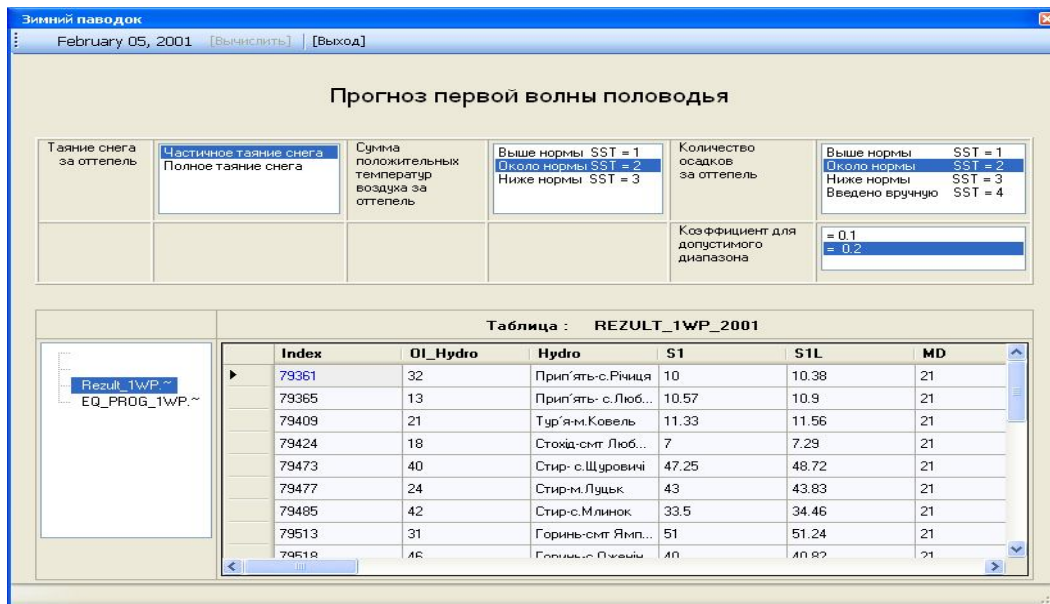


Рисунок 3.10 - Видгляд діалогового вікна «Результаты прогноза максимальных расходов воды зимнего паводка»

Прогноз максимальных витрат воды весеннего водопілля

Прогнозується максимальна витрата води весняного водопілля в межах і-го водозбору:

1. Дати складання прогнозу: 31.01, 5.02, 10.02, 15.02, 20.02, 25.02, 28.02, 5.03, 10.03, 15.03, 20.03, 25.03, 31.03, 5.04, 10.04.

2. Визначаються снігозапаси та опади для прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля:

- при прогнозах максимальних витрат води весняного водопілля

$$(S_m + X_1')_{ДСП} = [S_{ДСП}(1 - f_n) + k_n S_{ДСП} f_n] + \Delta \bar{S} + X_1'; \quad (3.36)$$

При цьому можливий вибір варіанта розрахунку (рис. 3.11)

2.1. Якщо дата складання прогнозу ДСП раніша від дати максимальних снігозапасів D_{Sm} :

а) розраховуються нормальні добавки снігу до максимальних снігозапасів ΔS в залежності від очікуваної температури повітря періоду сніготанення (нижчої за норму, близької до норми, вищої за норму) за табл.3.6 та формулою

$$\Delta \bar{S} = b + a(\varphi^o - 50), \quad (3.37)$$

де φ^o - широта метеостанцій, в частках градуса півн.ш.

б) розраховуються за (3.36) максимальні снігозапаси, які формують весняне водопілля.

Таблиця 3.5 – Нормальні добавки снігу до максимальних запасів води в сніговому покриві $\Delta \bar{S}$, мм

Умови введення добавки ($\Delta \bar{S}$) в залежності від очікуваної температури повітря		$\Delta \bar{S}$	Значення коефіцієнтів рівняння (3.37)	
ДСП: до дати 20.02	ДСП: від дати 20.02 і пізніше		a	b
$\Theta_{02,03} \leq (\bar{\Theta}_{02,03} - 1^\circ)$	$\Theta_{03} \leq (\bar{\Theta}_{03} - 1^\circ)$	$\Delta \bar{S}_1$	3.27-0.086 Д	26.8-0.55 Д
$(\bar{\Theta}_{02,03} + 1^\circ) > \Theta_{02,03} > (\bar{\Theta}_{02,03} - 1^\circ)$	$(\bar{\Theta}_{03} + 1^\circ) > \Theta_{03} > (\bar{\Theta}_{03} - 1^\circ)$	$\Delta \bar{S}_2$	3.38-0.109 Д	20.4-0.61 Д
$\Theta_{02,03} \geq (\bar{\Theta}_{02,03} + 1^\circ)$	$\Theta_{03} \geq (\bar{\Theta}_{03} + 1^\circ)$	$\Delta \bar{S}_3$	2.14-0.074 Д	7.47-0.25 Д

2.2. Якщо дата складання прогнозу ДСП співпадає з датою максимальних снігозапасів D_{Sm} , то в формулі (3.36) використовуються значення S_m .

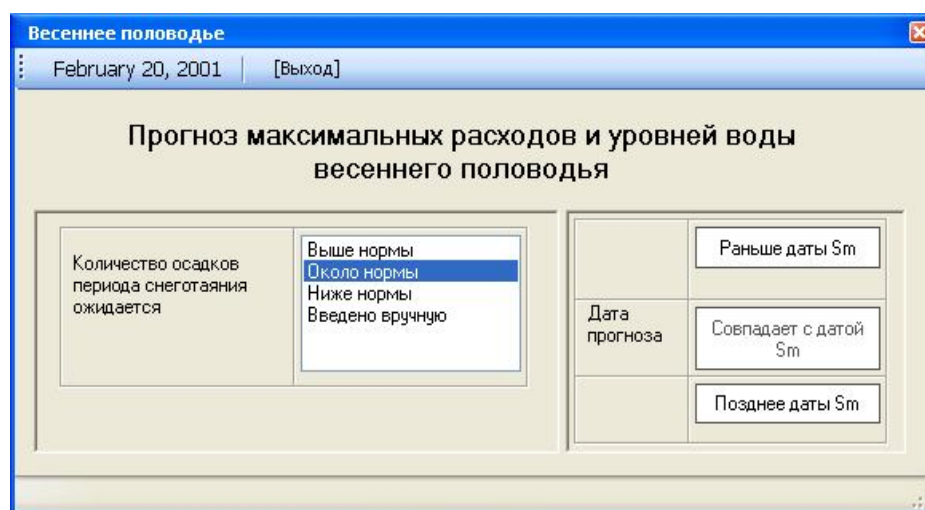


Рисунок 3.11 - Діалогове вікно для вибору варіанта прогнозу максимальних витрат та рівнів води

2.3. Якщо дата складання прогнозу ДСП пізніше дати максимальних снігозапасів D_{Sm} , у (3.36) також беруться значення S_m .

3. За синоптичною прогнозом (опадів вищі за норму, близькі до норми або нижчі за норму) і відповідних коефіцієнтах (табл.3.6) визначається сума опадів періоду сніготанення

$$X_1' = k_1 X_{1_0}, \quad (3.38)$$

Таблиця 3.6 – Коефіцієнти до норм опадів X_{1_0} і X_{2_0} з урахуванням метеорологічного прогнозу

Умови введення коефіцієнтів до норм опадів X_{1_0} та X_{2_0}	Коефіцієнти до норм опадів X_{1_0} та X_{2_0}
Опади вищі за норму ($X_1 > X_{1_0} + 10$)	$k_1 = 1.83 - 0.055(\varphi^0 - 50)$
Опади біля норми [$(X_{1_0} + 10) \geq X_1 \geq (X_{1_0} - 10)$]	$k_1 = 0.84 + 0.009(\varphi^0 - 50)$
Опади нижчі за норму ($X_1 < X_{1_0} - 10$)	$k_1 = 0.29 + 0.029(\varphi^0 - 50)$
Опади вищі за норму ($X_2 > X_{2_0} + 10$)	$k_2 = 1.75 - 0.027(\varphi^0 - 50)$
Опади біля норми [$(X_{2_0} + 10) \geq X_2 \geq (X_{2_0} - 10)$]	$k_2 = 0.86 + 0.022(\varphi^0 - 50)$
Опади нижчі за норму ($X_2 < X_{2_0} - 10$)	$k_2 = 0.36 + 0.031(\varphi^0 - 50)$

4. Модульний коефіцієнт сумарної кількості тало-дошової води, що формує весняне водопілля, знаходиться як

$$k_x = \frac{(S_m + X_1')}{(S_0 + X_{1_0})}; \quad (3.39)$$

5. Модульний коефіцієнт глибини промерзання ґрунтів перед весняним водопіллям, розраховується за формулою

$$(k_L)_i = \frac{L_i}{L_0}, \quad (3.40)$$

де L_i - середнє по водозбору значення максимальної глибини промерзання ґрунту для i -го року, см;

L_0 – норма глибини промерзання на водозборі, см.

6. Індекс передвесняного зволоження басейну – за середньою витратою води в річці, знаходиться за виразом

$$(k_{Q_{ns}})_i = \frac{(Q_{ns})_i}{(Q_{ns})_0}, \quad (3.41)$$

де $(Q_{ns})_i$ – середня витрата води i -го місяця, м³/с.

7. Прогноз максимальної витрати води весняного водопілля:

а) розраховуються дискримінанти функції за табл.3.1 та формулою

$$DF = a_0 + a_1 \frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{10}} + a_2 \frac{Q_{ns}}{(Q_{ns})_0} + a_3 \frac{L}{L_0} + a_4 \theta_{02}^o, \quad (3.42)$$

де $A = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_m)$ – вектор коефіцієнтів дискримінантної функції;

$(S_m + X_1)$ і $(S_m + X_{10})$ – максимальні запаси води в сніговому покриві з урахуванням суми рідких опадів періоду весняного сніготанення та їх норма, мм;

Q_{ns} і $(Q_{ns})_0$ – середня витрата води i -го місяця перед водопіллям та його норма, м³/с;

L і L_0 – глибина промерзання ґрунтів та її норма, см;

θ_{02}^o – температура повітря лютого, °С.

б) розраховуються максимальні модульні коефіцієнти весняного водопілля (за умови знаків дискримінантних рівнянь) за коефіцієнтами поліномів табл.3.2 та виразом, вигляду

$$k_q = \frac{q_m}{q_0} = b_0 + b_1 \frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{10}} + b_2 \left(\frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{10}} \right)^2 + b_3 \left(\frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{10}} \right)^3, \quad (3.43)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти полінома при прогнозі максимальних витрат води весняного водопілля.

в) Прогнозне значення максимальних витрат води весняного водопілля визначається, за допомогою

$$Q_m = k_q \cdot q_0 \cdot F = k_q \cdot Q_0, \quad (3.43)$$

де F – площа водозбору, км²;

$q_0(Q_0)$ – норма максимального модуля (витрати води, м³/с) водопілля (м³/с·км²), яка визначається як середнє багаторічне значення за наявності

тривалих спостережень на річках (3.6), або може бути розрахована за моделлю одномодального типового гідрографа – за обмеженості чи відсутності гідрологічних спостережень на річках (3.7).

8. Прогнозна максимальна витрата води Q_m представляється як найбільш ймовірне її значення, отримане за методикою, так і у вигляді інтервалу прогнозних Q'_m у 20%-му діапазоні допустимої похибки.

9. Визначається інтервал забезпеченості (ймовірності) настання максимальних витрат води весняного водопілля у багаторічному розрізі у вигляді (3.35) і даними табл.3.3.

Результати прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля представляються в комп'ютерному комплексі у вигляді ділового вікна на рис.3.12.

10. Складання прогнозу максимальних рівнів води весняного водопілля та зимового паводка.

11. Прогноз максимальних рівнів води весняного водопілля H_m виконується по спрогнозованих Q_m за кривими витрат води $Q = f(H)$ для i -го водозбору.

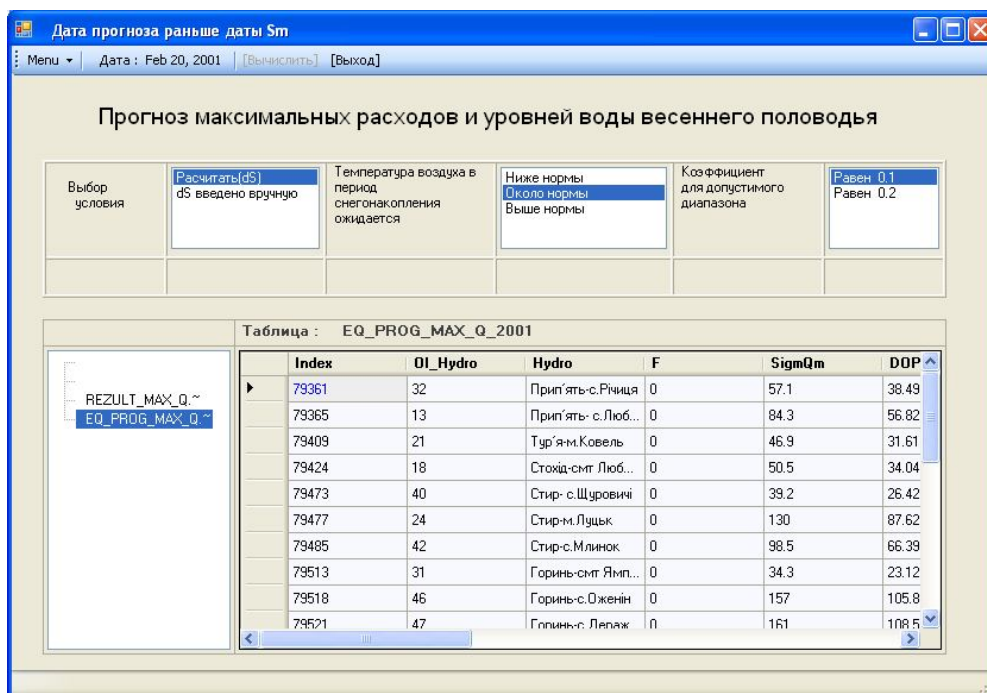


Рисунок 3.12 - Вигляд діалогового вікна «Результаты прогноза максимальных расходов воды весеннего половодья» в дату выпуска прогнозу до момента настання максимальних снігозапасів

12. Представлення максимальних рівнів води весняного водопілля (H_m , см) в комп'ютерному комплексі здійснюється у вигляді:

а) інтервалу прогнозних максимальних рівнів води весняного водопілля H_m у 20%-му діапазоні допустимої похибки;

б) модульного коефіцієнта відносно:

- середнього багаторічного значення максимального рівня води весняного водопілля (H_0 , см) як

$$k_{H_m} = H_m / H_0 ; \quad (3.44)$$

- максимального за багаторічний період (H_{mm} , см) як

$$k_{H_{mm}} = H_m / H_{mm} ; \quad (3.45)$$

- рівня виходу води на заплаву ($H_{зп}$, см) як

$$k_{H_{зп}} = H_m / H_{зп} ; \quad (3.46)$$

- критичних відміток небезпечних явищ ($H_{НЯ}$, см) як

$$k_{H_{НЯ}} = H_m / H_{НЯ} ; \quad (3.47)$$

- стихійних гідрологічних явищ ($H_{СГЯ}$, см) як

$$k_{H_{СГЯ}} = H_m / H_{СГЯ} . \quad (3.48)$$

Значення модульних коефіцієнтів (більше, менше або на рівні одиниці) дозволяє визначити знак та величину відхилення очікуваного рівня води на річках від середньобагаторічних показників.

3.2.3 Побудова на комп'ютері карт очікуваних величин та їх забезпеченості

По прогнозних значеннях максимальних модульних коефіцієнтів весняного водопілля k_q та їх забезпеченості $P\%$ будується карто-схема розподілу цих величин по території басейну Прип'яті шляхом віднесення значень k_q і $P\%$ до геометричних центрів тяжіння опорних водозборів і проведення ізоліній комп'ютерними засобами на основі аналізу гідрометеорологічної ситуації на водозборах. Приклад таких карто-схем при прогнозі максимальних витрат води весняного водопілля 2010 р. в басейні р. Прип'ять (при складанні прогнозу в дату накопичення максимальних снігозапасів – 20 лютого) наведений на рис. 3.13 та 3.14.

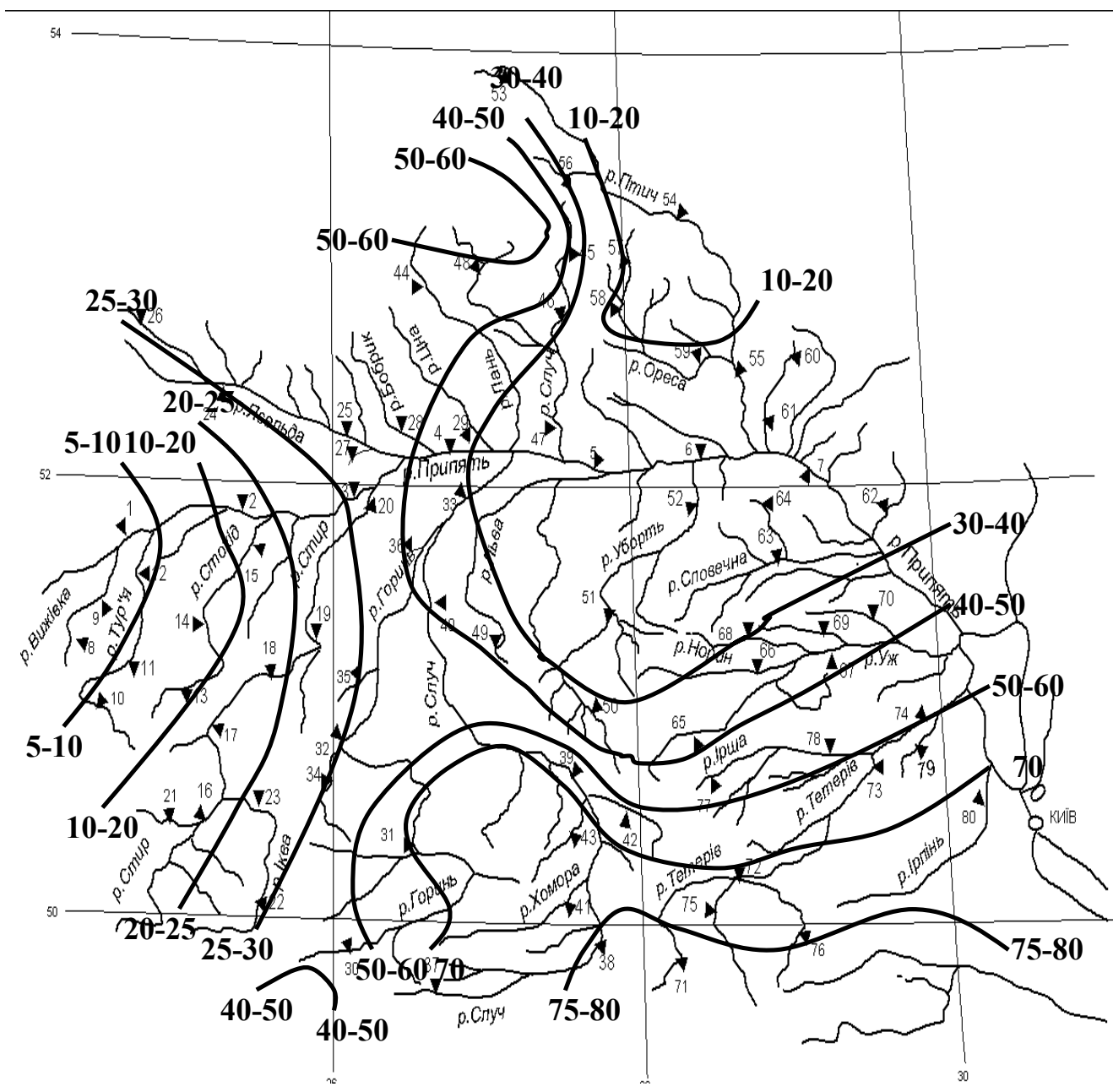


Рис.3.14– Розподіл по території басейну Прип'яті та правих приток Середнього Дніпра забезпеченості ($P\%$) прогнозних значень максимальних витрат води весняного водопілля 2010 р.
 (випуск прогнозу в дату настання максимальних снігозапасів – 20 лютого)

Так, формування весняного водопілля 2010 р. відбувалося у вкрай складних умовах. Найвищим водопілля прогнозувалося в верхній течії рр. Прип'ять та Птич (при значеннях максимальних модульних коефіцієнтів $k_q=1.5-2.9$), в центральній частині території максимуми водопілля очікувалися на рівні норми ($k_q=1.0$), а в південній і південно-східній частині – вони прогнозувалися майже у два рази нижчими за норму ($k_q=0.59-0.33$).

Карто-схеми ймовірності настання у багаторічному розрізі максимальних витрат води водопілля 2010 р. (див.рис. 3.14) відповідають значенням $P\%$ 5-10 і 10-20% відповідно до формування високих водопіль в верхів'ях Прип'яті і Птичі, 30-40% - для близьких до норми в центральній частині та 70-80% - для максимумів нижчих за норму в басейнах рр. Горинь, Случ, Тетерів, Ірша, Ірпінь.

3.2.4 Оцінка прогнозів гідрологічних величин

Оцінка якості складених прогнозів максимальних витрат (рівнів) води здійснюється після отримання спостережених величин витрат і рівнів води в межах i -х водозборів.

1. Для оцінки якості прогнозу максимальних витрат (рівнів) води зимового паводка Q'_{m3} і весняного водопілля Q'_m здійснюються:

а) встановлення допустимої похибки прогнозу $\delta_{\delta_{дон}}$ (m^3/c , см), яка визначається за багаторічним рядом спостережень за максимальними витратами (рівнями) води весняного водопілля на річках або для Q_m розраховується за формулою (3.15);

б) розрахунок похибки поточного прогнозу δ (m^3/c , см) за (3.14) або (3.17);

в) розрахунок критерію якості прогнозу - $\delta / \delta_{\delta_{дон}}$.

Прогноз вважається справджуваним, якщо відношення $\delta / \delta_{\delta_{дон}} \leq 1.0$.

Контрольні запитання до практичного завдання 3

- За якою схемою виконується довгостроковий прогноз шарів стоку весняного водопілля в територіальній моделі при встановленні типу водності весни?
- За якою схемою виконується довгостроковий прогноз максимальних витрат води весняного водопілля в територіальній моделі при встановленні типу водності весни?
- Як встановити забезпеченість прогнозних величин у багаторічному періоді?

- Основні принципи роботи автоматизованого програмного комплексу „Прип’ять” для довгострокового прогнозу максимальних витрат води зимових паводків рівнинних річок.
- Основні принципи роботи автоматизованого програмного комплексу для довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних річок в басейні р. Прип’ять.
- Яка форма представлення прогнозних характеристик використовується в автоматизованих програмних комплексах?
- Як оцінити складений прогноз шарів стоку або максимальних витрат води весняного водопілля?

Індивідуальне завдання

4. Прогнозування строків початку та настання максимальних витрат води водопілля за комп’ютерною програмою «Прип’ять»

Мета роботи: випуск прогнозу строків початку та настання максимальних витрат води весняного водопілля, його оцінка в басейні р. Прип’ять при використанні програмного комп’ютерного комплексу «Прип’ять».

Завдання:

- одержання вихідної гідрометеорологічної інформації з бази даних Українського гідрометцентру, що сформована в автоматизованій системі АРМ-гідро;
- формування бази вихідних даних;
- випуск прогнозу строків початку та настання максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Прип’ять;
- картографічна форма представлення прогнозних строків початку водопілля та ймовірності їх настання у багаторічному розрізі;
- здійснення оцінки прогнозу.

Вихідні дані, що використовуються в моделі:

- морфометричні характеристики басейнів (площа і географічна широта центру водозбору);
- щорічні дані гідрологічних, метеорологічних спостережень на метеостанціях і гідрологічних постах в басейнах рр. Прип’ять, Уж, Тетерів, Ірша, Ірпінь, Рось.

Розв’язання:

4.1 Загальні положення

Методику фонового прогнозування строків початку та проходження максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних річок базується на використанні середньодекадних температур повітря навесні. При цьому коефіцієнти і параметри прогнозуної схеми узагальнюються в залежності від географічної широти і розмірів водозборів, що дає можливість встановлення при оперативному прогнозуванні дат проходження водопіль на річках, незалежно від їх гідрологічної вивченості.

Методика прогнозу строків початку та настання максимумів водопіль на річках передбачає й визначення частоти їх повторюваності, що встановлюються за кривими забезпеченостей цих дат; спрогнозовані дати початку весняних водопіль і ймовірнісні оцінки представляються у картографічному вигляді.

4.2 Схема складання прогнозу дат початку і максимальних витрат води весняного водопілля, встановлення завчасності прогнозу

(розрахунки ведуться на ПЕОМ)

1. Прогноз дати початку весняного водопілля здійснюється в дату максимальних снігозапасів D_{Sm} :

а) визначення середньої на i -му водозборі дати максимальних снігозапасів за даними j -х метеостанцій;

б) встановлення за метеопрогнозом середньої температури повітря в першу декаду після дати настання максимальних снігозапасів $D_{Sm} - \theta_1^{\circ}C$;

в) розрахунок тривалості водозатримки води снігом – кількість днів від D_{Sm} до дати початку водопілля

$$t_e = [2.124(\varphi^{\circ} - 50) + 6.6] - 1.5\theta_1^{\circ}; \quad (4.1)$$

г) прогноз дати початку весняного водопілля за формулою вигляду

$$D'_e = D_{Sm} + t'_e, \quad (4.2)$$

де D'_e – очікувана дата початку весняного водопілля;

D_{Sm} – дата максимальних запасів води в сніговому покриві;

t'_e – очікувана тривалість періоду від дати S_m до дати початку водопілля D_e , яка при використанні метеорологічного прогнозу температури повітря (θ_1 °C) за декаду, наступну після D_{Sm} .

2. Прогноз дати максимальних витрат весняного водопілля здійснюється в дату початку водопілля D_e :

а) встановлення за метеопрогнозом температури повітря в першу декаду після дати початку весняного водопілля $D_e - \theta_2$ °C ;

б) розрахунок тривалості підйому весняного водопілля t_n - за

$$t_n = [2.76 \lg(F + 1) + 4.92] - 1.5\theta_2^0 . \quad (4.3)$$

в) прогноз дати максимальної витрати води весняного водопілля D'_{Qm} знаходиться за виразом

$$D'_{Qm} = D_e + t'_n , \quad (4.4)$$

де D'_{Qm} – очікувана дата максимальної витрати води водопілля;

D_e – дата початку весняного водопілля, яка визначається за прогнозом по (4.2) або по фактично спостереженій даті;

t'_n – очікувана тривалість підйому весняного водопілля, спираючись на метеорологічний прогноз температури повітря θ_2 °C за декаду, наступну після дати початку водопілля D_e .

Завчасність прогнозів дат проходження максимальних витрат води весняного водопілля визначається тривалістю підйому t_n

$$D''_{Qm} = D'_e + t'_n , \quad (4.5)$$

а дата його випуску буде відноситись до дати настання максимальних снігозапасів D_{Sm} . Очевидно, що при цьому завчасність прогнозу дещо збільшується, а точність – знижується.

3. Визначення завчасності прогнозу дат початку та проходження максимальних витрат (рівнів) води весняного водопілля, як різниці дат: від строку складання прогнозу до дати настання явища, що прогнозується.

В комп'ютерному комплексі прогнозування дат початку водопілля та проходження його максимальних витрат чи рівнів води представляється у вигляді діалогового вікна (рис. 4.1).

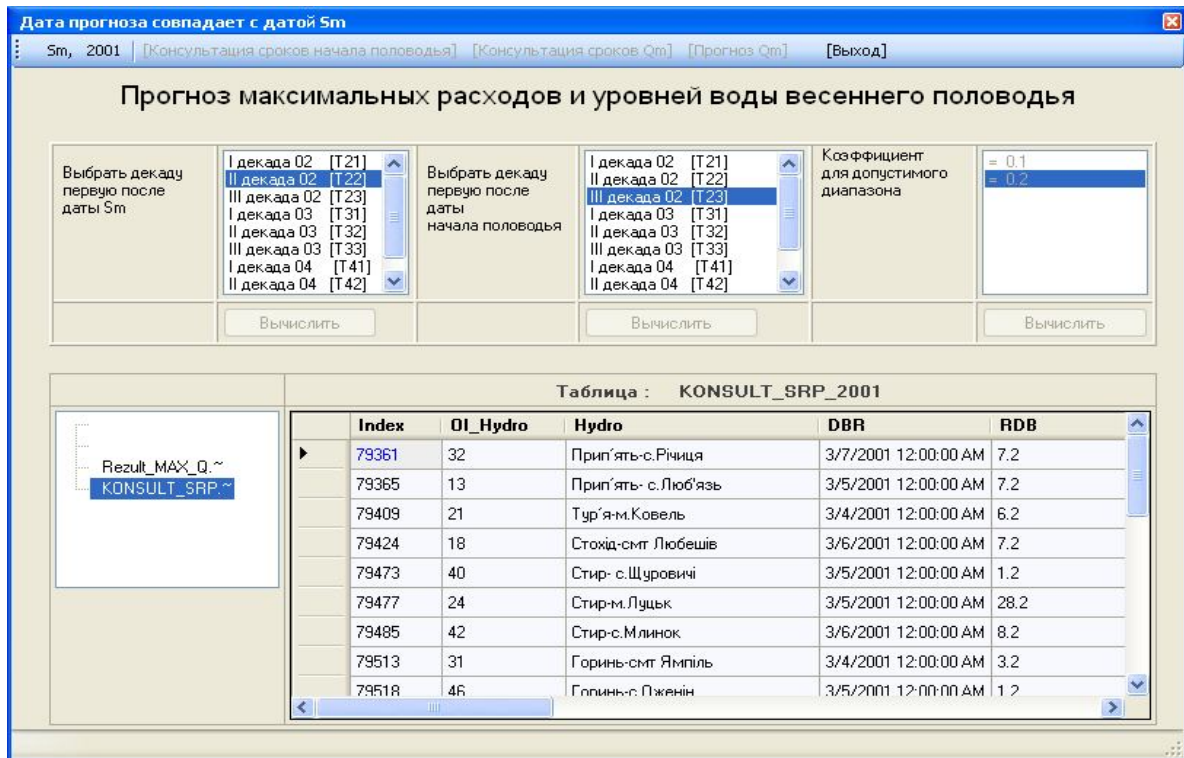


Рисунок 4.1 - Вид диалогового окна «Результаты прогноза дат начала и прохождения максимальных расходов воды весеннего половодья» в дату настанья максимальных снегозапасів

4.3 Визначення забезпеченості прогнозних дат у багаторічному розрізі

Важливим є питання встановлення забезпеченості або ймовірності перевищення прогнозних дат початку та настанья максимальних витрат чи рівнів води у багаторічному розрізі.

Встановлення ймовірності здійснюється по прогнозній даті початку водопілля чи максимальної витрати води (як кількості діб від 31.01 до дати настанья явища) по емпіричних кривих забезпеченості дат. Такі криві, наприклад, для р. Прип'ять – с. Люб'язь показані на рис. 4.2 для дат початку весняного водопілля та рис.4.3 – для дат проходження максимальних витрат води водопіль. Для всіх інших річок розглядуваної території криві збережені у електронному вигляді.

N_{ng} , д

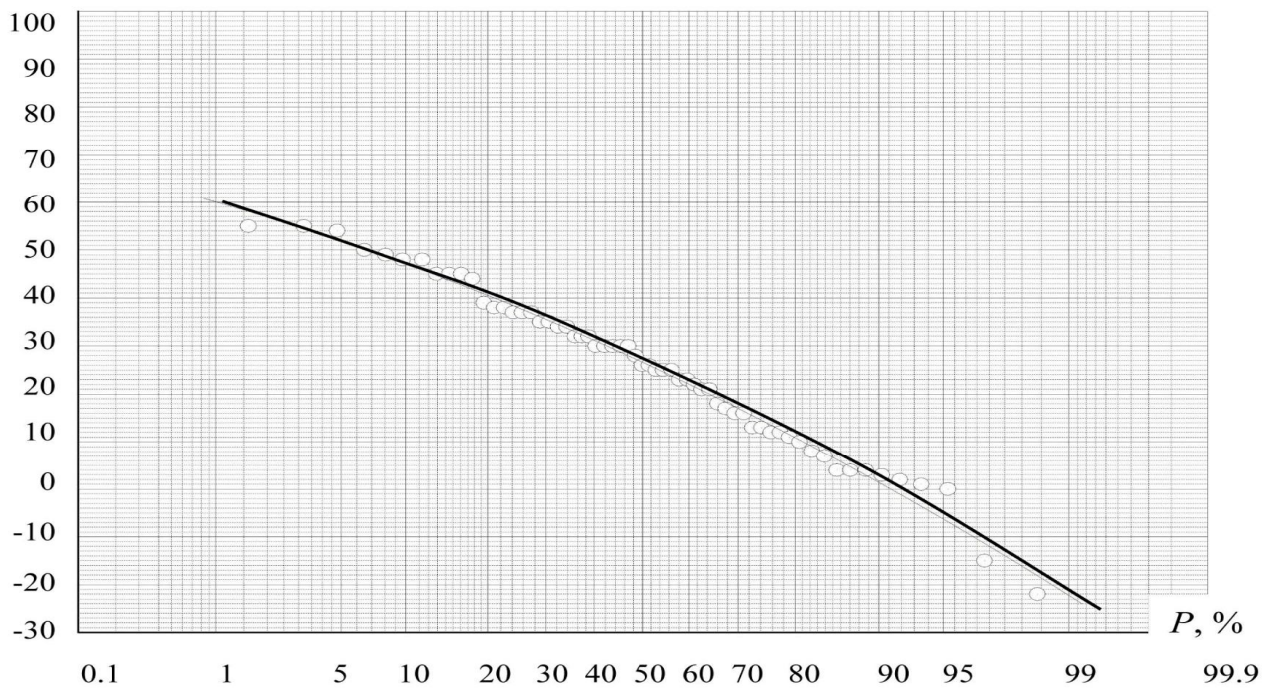


Рисунок 4.2 – Крива забезпеченості дат початку весняного водопілля (у вигляді кількості днів від 31.01) для р. Прип'ять – с. Люб'язь

N_{Qm} , д

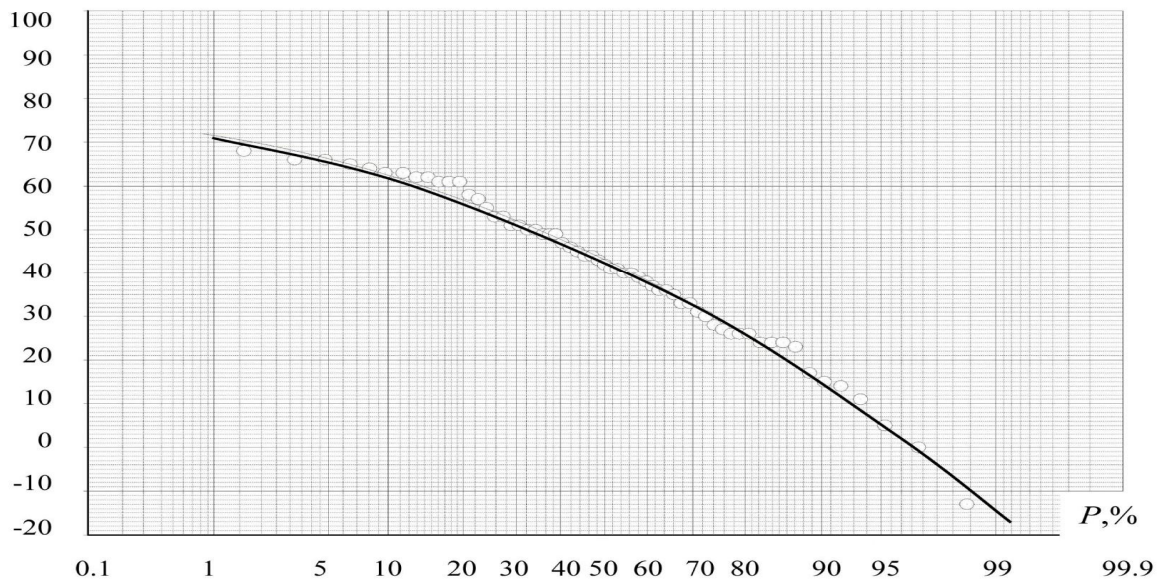


Рисунок 4.3 –Крива забезпеченості дат проходження максимальних витрат (рівнів) води (у вигляді кількості днів від 31.01) для р. Прип'ять – с. Люб'язь

4.4 Форма представлення очікуваних дат проходження весняного водопілля

В методиці прогнозу дат здійснюється побудова карт дат початку водопілля на дату прогнозу: очікувані дати початку водопілля D'_e відносяться до геометричних центрів тяжіння водозборів і проводяться ізолінії зміни дат по території.

Крім того, аналогічним чином будуються карти ймовірності настання дат початку та проходження максимальних витрат води водопілля у багаторічному розрізі.

Передбачається й розрахунок відхилення дат початку та максимальних витрат води весняного водопілля у поточному році від середніх багаторічних дат як

$$\Delta D_e = D'_e - (D_e)_0, \quad (4.6)$$

$$\Delta D_{Q_m} = D'_{Q_m} - (D_{Q_m})_0, \quad (4.7)$$

де ΔD_e і ΔD_{Q_m} - відхилення очікуваних дат початку водопілля D'_e і максимальних витрат (рівнів) води D'_{Q_m} у поточному році від середніх багаторічних дат $(D_e)_0$ і $(D_{Q_m})_0$.

4.5 Оцінка якості прогнозів дат

Допустима похибка при короткострокових прогнозах дат настання весняних процесів береться в залежності від їх завчасності (табл.4.1).

Таблиця 4.1 – Значення допустимої похибки при прогнозах дат

Завчасність прогнозів, д	1-3	4-5	6-9	10-13	14-15
Допустима похибка прогнозів $\delta_{доп}$, д	1	2	3	4	5

Оцінка оперативних прогнозів дат початку (D'_e) і максимальних витрат (рівнів) води (D'_{Q_m}) в поточному році здійснюється шляхом розрахунку похибки прогнозу (δ , д) відносно спостережених дат, як

$$\delta D'_e = D_e - D'_e, \quad (4.8)$$

$$\delta D'_{Q_m} = D_{Q_m} - D'_{Q_m}. \quad (4.9)$$

Прогноз вважається справджуваним якщо $\delta \leq \delta_{дон}$, д.

Контрольні запитання до індивідуального завдання

1. Які принципи прогнозів строків початку та проходження максимальних витрат води весняного водопілля на рівнинних річках?
2. Які основні підходи до прогнозів дат початку та проходження максимумів весняних водопіль на річках в методі ОДЕКУ?
3. Схема складання прогнозів строків початку та проходження максимальних витрат води весняного водопілля в автоматизованому програмному комплексі „Прип’ять”
4. Як ведеться встановлення забезпеченості прогнозних дат?
5. Яка форма представлення прогнозів строків проходження весняного водопілля на річках?
6. Як ведеться оцінка прогнозів строків гідрологічних явищ на річках?

Перелік літератури до практичного завдання 3 та індивідуального завдання

1. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакірманова Ж.Р. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип’ять: монографія.– Одеса: Екологія, 2011. – 336 с.
2. Шакірманова Ж.Р. Довгострокові гідрологічні прогнози: Конспект лекцій. – Одеса: Вид. ТЕС, 2010. – 154 с.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1984.- 450с.
4. Наставление по службе прогнозов. – Вып.3, ч.1,Л.: Гидрометеиздат. – 1962. – 194 с.
5. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. – Київ.: Український гідрометеорологічний центр, 2012. – 120 с.
6. Методичні вказівки до чергувань з дисципліни «Гідрологічні прогнози» по темі: «Керівництво роботи з автоматизованим робочим місцем гідролога-прогнозіста АРМ-гідро» для студентів IV-V курсів денної форми навчання за спеціальністю “Гідрологія” / Шакірманова Ж.Р., Бойко В.М., Погорєлова М.П., Будкіна І.Є., Арестова О.В.– Одеса, ОДЕКУ, 2012. – 58 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
з дисципліни
“СУЧАСНІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ В ГІДРОЛОГІЧНИХ
РОЗРАХУНКАХ І ПРОГНОЗАХ”

Укладачі: Гопченко Євген Дмитрович
Шакірзанова Жаннетта Рашидівна
Овчарук Валерія Анатоліївна

Підп. До друку Формат 60x84/16 Папір. друк.
Умовн.друк. арк. Тираж 100 Зам.№

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

Надруковано з готового оригінал – макета