

УДК 627.152.12

© В.М. Корбутяк¹, канд. техн. наук;
М.В. Корбутяк¹, канд. геогр. наук, ст. наук. співробітник;
О.Н. Кафтан², канд. техн. наук, ст. наук. співробітник

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

²ТОВ «Водбуд Україна», м. Київ

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ГІДРОМОРФОЛОГІЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ РУСЕЛ РІЧОК УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЗЛИВОВИХ ПАВОДКІВ

У роботі показана можливість використання вимірників руслового процесу для визначення максимальних зливових витрат. Зокрема, запропоновано формулу для визначення швидкості добігання розрахункової витрати на основі параметра типу русла.

Ключові слова: злизові витрати, руслове добігання, русло, швидкість

На формування максимальних зливових витрат, крім метеорологічних факторів (інтенсивність, тривалість, шар зливових опадів, площа зрошення), як відомо, значно впливають місцеві особливості водозбору і річки (величина площі водозбору, його форма, довжина водотоку і його ухил, кількість наносів, характер долини, ступінь і характер залісненості, зарегульованості та ін.). Внаслідок взаємодії згаданих факторів величини модулів максимальних зливових витрат для сусідніх річок і для різних створів однієї річки можуть значно різнитися між собою. Процес формування зливого стоку настільки складний, що на сучасній стадії розвитку інженерної гідрології доводиться враховувати лише основні вирішальні фактори механізму формування поверхневого стоку. При детальному врахуванні всіх факторів, які впливають на формування максимальної зливної витрати, залежності будуть дуже складними і такими, що не піддаються точному розв'язанню. Отже, ми змушені розглядати процес формування стоку дещо схематично і піти на спрощення, при яких вирішальні фактори в цілому враховуються з достатньою для практики точністю [1].

Результати наших досліджень спрямовані на визначення розрахункових значень максимальних зливових витрат води за відсутності або недостатності даних гідрометричних спостережень для річок Українських Карпат за рахунок використання даних натурних обстежень руслових утворень.

Вплив типу русла на швидкість руслового добігання

Гідроморфологічні співвідношення відображають результат взаємодії потоку і русла. Основне з них - відношення ширини потоку b до його середньої глибини $h_{сер}$. Це відношення

змінне навіть під час проходження руслоформуючої витрати, оскільки русловий процес є дискретним, нестационарним. Тому про відношення $b/h_{сер}$ говорять, як про певну осереднену величину.

Як відомо, потік та змінне русло не можуть вивчатися окремо, їх слід розглядати як дві частини єдиної фізичної системи. Взаємодія цих елементів здійснюється за принципом зворотного зв'язку потік-русло.

З огляду на це очевидно, що пропускна здатність русел, швидкість пробігання паводкової хвилі визначаються гідравлічним опором, який залежить від гранулометричного складу наносів, відносної шорсткості ($h/d_{сер}$), руслових форм, обрису долини річки. Названі фактори змінюються по довжині річки, формуючи при певному поєднанні відповідні типи русел.

Для отримання кількісних показників, які характеризували б зв'язок потужності з типами русел, нами взято вираз питомої потужності потоку $N=QI$, m^3/c та відношення ширини русла до його глибини $b/h_{сер}$, яке, за дослідженнями В.М. Католікова та З.Д. Копаліані [2], впливає на коливання модуля поздовжньої швидкості, тим самим визначаючи розвиток мезоформ.

На основі гідравлічних характеристик, які відповідають руслоформуючій витраті, нами побудовано графік (рис. 1), який дозволив чітко виділити умови існування типів русел по території Українських Карпат, встановлених на основі натурних досліджень, відомих фізико-географічних та енергетичних критеріальних залежностей.

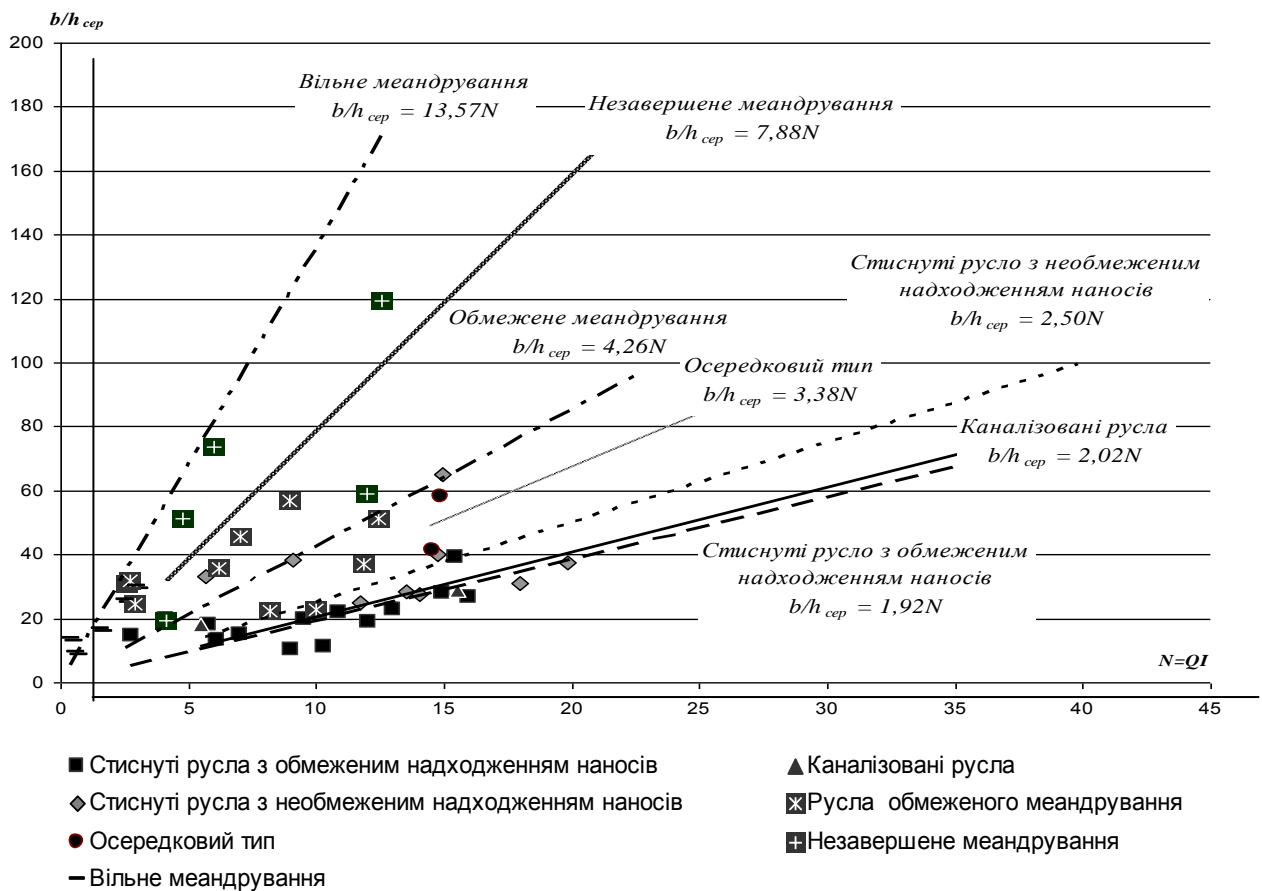


Рис. 1 - Графік залежності $b/h_{сер} = f(QI)$ для різних типів руслового процесу

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Кути нахилу прямих, які відповідають певним типам русел, характеризують їх різну здатність до пропуску паводкових об'ємів води. При розширенні русла його пропускна здатність падає, оскільки розширення русла супроводжується зменшенням глибини і, відповідно, зростанням відносної шорсткості. Чим більша відносна ширина русла, тим більше його поперечний профіль відрізняється від гідравлічно найвигіднішого.

З рис. 1 можна зробити висновок, що якщо певний об'єм паводку через меандруючі ділянки русла буде проходити найдовший період часу, то ділянки річки із стиснутим та каналізованим типом русла цей самий об'єм пропустять за найменший час у порівнянні з ділянками з іншими типами руслових деформацій.

Різним типам русел властива різна транспортуюча, а отже, і пропускна здатність русел. За даними І.В. Попова [3] найбільші питомі витрати донних наносів спостерігаються на ділянках річок з грядовим рельєфом дна (боковиковий тип русла) та русловою багаторукавністю, найменші - у меандруючих річок. У такому ж напрямку зменшуються швидкості течії [4].

Отже, можна зробити висновок, що така ж тенденція характерна і для швидкості добігання розрахункової витрати $V_{доб}$ на ділянках річок.

Типізація гірських річок на основі залежності $b/h_{cep}=f(QI)$, відомі постулати гідролого-морфологічної теорії руслового процесу [3] дозволяють обґрунтувати гідроморфологічний підхід при визначенні одного з основних параметрів формул максимального стоку - часу руслового добігання.

Побудова графіків залежностей $V_{доб}=f(Q)$ на основі даних натурних спостережень, виконаних інститутом "Львівдіпроводгосп", дала можливість виявити залежність швидкості руху паводкової хвилі від руслових процесів на ділянках річок. Різним типам русла відповідає різний нахил кривої $V=f(Q)$, що означає різний приріст швидкості з ростом витрати $\Delta V / \Delta Q$ (рис.2). Тобто приросту швидкості відповідає різна, залежно від типу русла, зміна площі поперечного перерізу. Для апроксимації залежності $V=f(Q)$ обрано логарифмічну функцію виду $V = A \ln(Q)$, де A - параметр типу русла, який для річок Українських Карпат (за нашими дослідженнями) змінюється в межах від 0,22 до 0,70. Як видно з рис. 2, більші значення A відповідають більш стиснутим руслам.

Відомо, що інтенсивне зростання швидкостей води у руслі відбувається до встановлення глибини, яка відповідає руслоформуючій витраті $Q_{p.ф.}$. Нашими дослідженнями та дослідженнями багатьох авторів встановлено, що у багатьох випадках руслоформуюча витрата проходить на межі виходу з бровки русла. Величина руслоформуючої витрати в створі за незмінних гранулометричних характеристик наносів залишається сталою. Подальше зростання витрати води не зумовлює значної зміни швидкості потоку.

Для визначення швидкості добігання хвилі паводку $V_{доб}$, м/с, для Карпатського регіону розроблено емпіричну формулу (1). У виразі під логарифмом використано частку $Q/Q_{p.ф.}$, як показник висоти паводку.

$$V_{доб} = A \ln\left(\frac{Q}{Q_{p.ф.}} + 1\right) + V_0, \quad (1)$$

де Q - розрахункова паводкова витрата, m^3/c ;

A - параметр типу русла, m/c , який визначається за формулою (2);

$V_0 = 5,17A$ - швидкість добігання руслоформуєчої витрати, m/c .

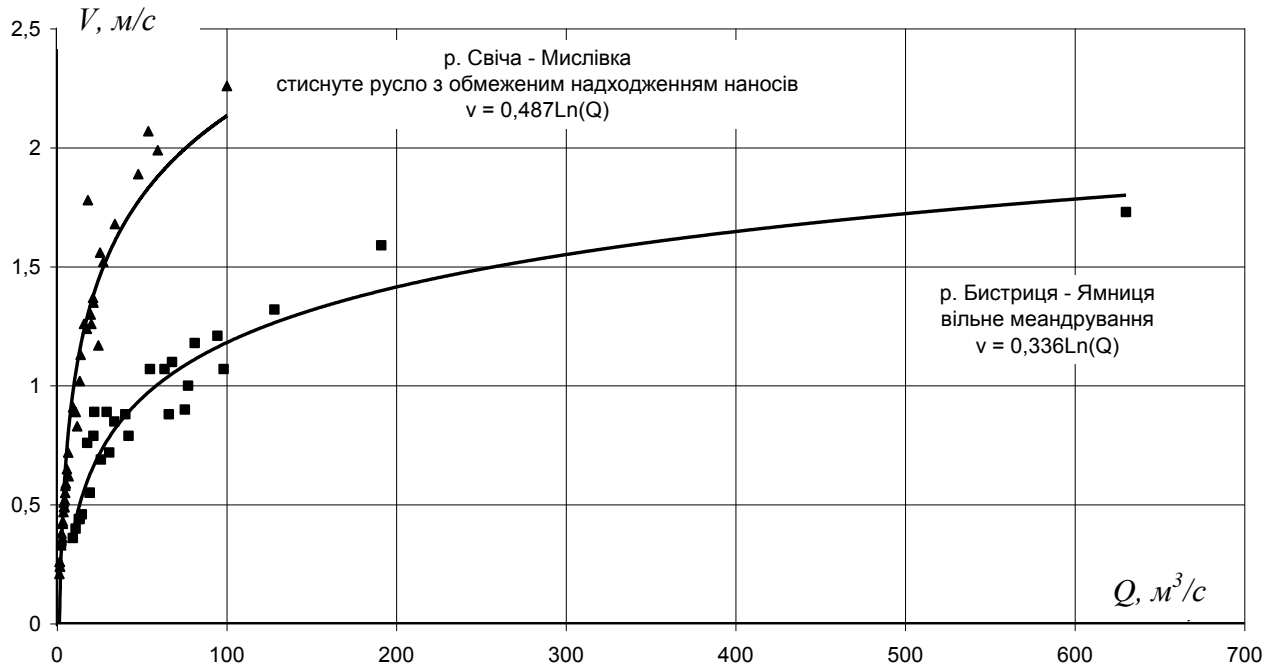


Рис. 2 - Криві $V=f(Q)$ для різних типів руслового процесу

Параметр типу русла A відображає наступні чинники:

1. Вплив форми поперечного перерізу русла (рис. 1, 2) та здатність пропуску руслом високих витрат води. Як видно з рисунків, витрата 100 м³/с стиснутими руслами пропускається при більшій швидкості і, відповідно, меншій площі живого перерізу.

2. Зв'язок із шорсткістю русла. Зокрема, руслам із більшими швидкостями (відповідно більшими A) відповідає крупніший гранулометричний склад наносів, що узгоджується із постулатом, який було сформульованим М.А. Велікановим, про мінімальну швидкість дисипації енергії у русловому потоці. Тобто потік витрачає для транспорту води та наносів рівно стільки енергії, скільки її необхідно при існуючих умовах в руслі та на водозборі.

Питання статистичної стабільності процесів стоку води та наносів вивчав К.В. Грішанін. За його висловом, „річковий потік та його русло являють собою, можливо, найдосконалішу із систем неорганічного світу, які мають властивість самоуправління” [4, с. 10]. Русло гасить енергію потоку, не виходячи при цьому за межі певного діапазону швидкостей. Для формування статистично стабільного русла (тобто русла, яке перебуває в стані динамічної рівноваги) швидкості потоку, з одного боку, мають забезпечити транзит неруслових наносів, а з іншого – не повинні бути більшими того значення, яке зумовить масове винесення донного матеріалу.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Різні типи руслового процесу забезпечують можливість русла пристосовуватись до змін фізико-географічних та антропогенних умов шляхом формування різних поперечних профілів, зміною шорсткості русла як за рахунок зміни звивистості, формування донних гряд, так і за рахунок сортування донних наносів із зміною їх середньозваженого діаметру $d_{сер.зв}$.

Відомо, що зміна типів руслового процесу у загальному визначається зміною висоти водозбору річки. Існування залежності середньозваженого діаметру наносів $d_{сер.зв}$, який оцінюється за формулою $\frac{\sum P_i d_i}{100}$ (d_i - середній діаметр i -тої фракції проби, P_i - доля цієї фракції), від висоти водозбору встановлено рядом досліджень [4]. Це дозволило нам отримати досить тісну залежність параметра типу русла A від $d_{сер.зв}$ (рис. 3).

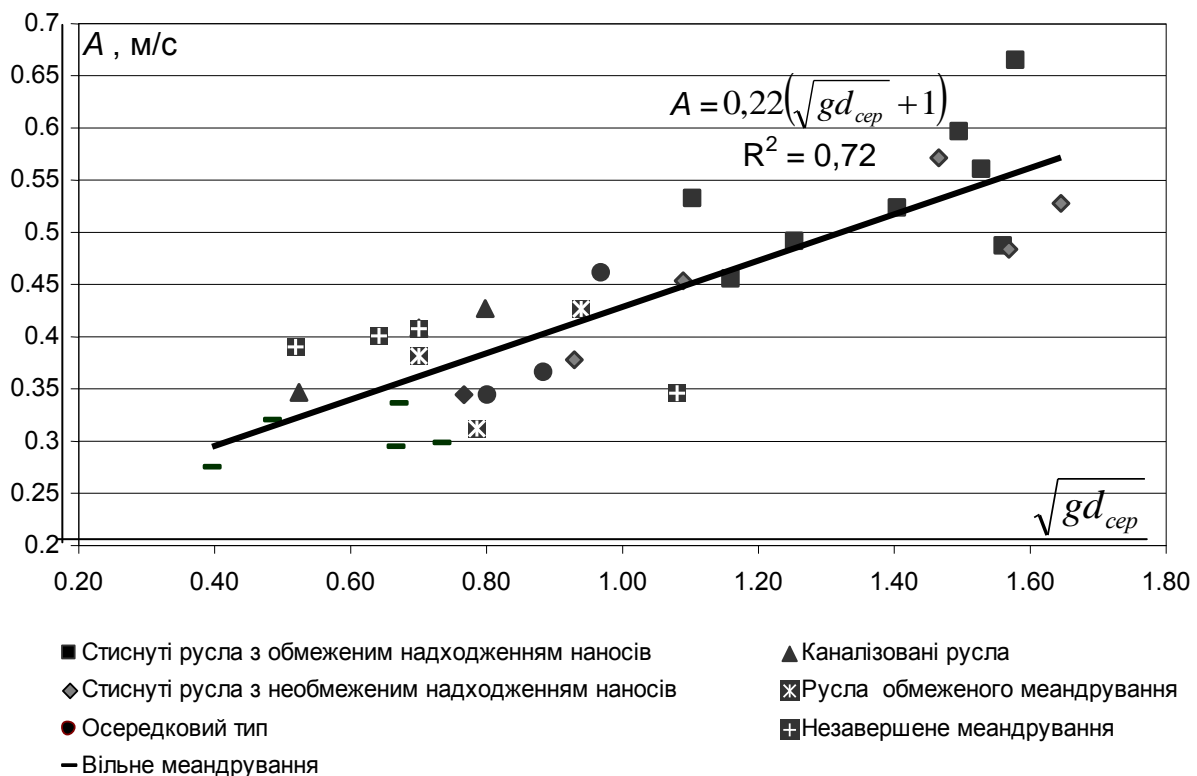


Рис. 3 - Залежність швидкісного параметра типу русла A від середньозваженого діаметра $d_{сер.зв}$ за типами русел

Використання для визначення A виразу $\sqrt{gd_{сер.зв}}$, де g – прискорення вільного падіння, m/c^2 , $d_{сер.зв}$ – середньозважений діаметр наносів, m , дає можливість отримати рівняння, яке відповідає принципу розмірності. Вираз $\sqrt{gd_{сер.зв}}$ характеризує потенціальну енергію зерен донних наносів, яка протиставляється кінетичній енергії потоку.

$$A = a \left(\sqrt{gd_{\text{сеп.зв}} + 1} \right), \quad (2)$$

де a – регіональний коефіцієнт, який характеризує зміну крупності наносів з висотою, для Українських Карпат $a=0,22$.

Також для визначення швидкості руслового добігання на ділянці річки для Карпатського регіону можна застосовувати вихідну емпіричну формулу:

$$V_{\text{доб}} = A \ln(Q), \quad (3)$$

де $V_{\text{доб}}$ - швидкість добігання хвилі паводку, м/с;

Q - розрахункова паводкова витрата, м³/с;

A - швидкісний параметр типу русла, м/с, який визначається за формулою (2).

Запропонований метод розрахунку швидкостей добігання розрахункової витрати перевірено за фактичними швидкостями добігання 29 паводків, які отримано інститутом “Львів-діпроводгосп”. Для визначення швидкостей добігання використовувалися дані про витрати води в замикаючих створах та дані самописців рівня води. У випадках визначення часу добігання за переміщенням піків відповідних рівнів витрати визначалися за кривими витрат. На безприточних та малоприточних ділянках за витратами верхнього створу з урахуванням площі басейну до замикаючого створу. При цьому дотримувалася умова: площа басейну до нижнього замикаючого створу не повинна перевищувати площу водозбору верхнього створу більше, ніж на 25 %. За цілковитої відсутності даних витрати визначалися методом аналогії. Перенесення витрат із сусідніх вивчених басейнів виконувалося з урахуванням площі басейну та його фізико-географічних особливостей.

Нами використано дані щодо часу добігання для 6 ділянок річок. Приточність обраних ділянок не перевищувала 50% від транзитної витрати води.

Слід зазначити, що на деяких ділянках з незначною боковою приточністю можуть спостерігатися від’ємні значення часу добігання. Особливо це характерно для малих річок та тимчасових водотоків. Тут значний вплив має концентроване надходження води з малих площ та напрямок руху дощової хмари.

Похибки розрахунку швидкості руслового добігання зумовлені дією неврахованих факторів, неточністю вихідного матеріалу та впливом бокової приточності (табл. 1).

Таблиця 1 - Статистична оцінка результатів перевірочних розрахунків швидкостей добігання

Відхилення	Градації похибок, %					Всього
	0-4	5-10	11-15	16-25	26-35	
Вище спостережених, %	+10,3	+13,9	+13,9	+20,7	+3,4	+62,2
Нижче спостережених, %	-6,9	-10,3	-3,4	-10,3	-6,9	-37,8
Сумарна забезпеченість похибки, %	17,2	41,4	58,7	89,7	100	

Визначення максимальних зливових витрат з урахуванням параметра руслового процесу

Найбільш раціональним методом розрахунку зливого стоку на сучасному етапі гідрологічних досліджень вважається генетичний метод, який враховує залежності між величинами зливого стоку та основними компонентами його формування.

Для розрахунку максимальних зливових витрат в умовах Українських Карпат широко застосовуються розрахункові генетичні схеми А.М. Бефані. Вони ґрунтуються на гідромеханічній теорії формування руслового стоку та стоку зі схилів і дають можливість детально врахувати фактори стоку для забезпечення достатньої точності розрахунків.

На основі польових інженерно-гідрологічних досліджень, проведених інститутом “Львівдівпроводгосп”, В.В. Вакалюк запропонував генетичну формулу у вигляді [6]:

$$Q_{p\%} = \left[\frac{0,28 \cdot Y_m \cdot \varphi \cdot K_F \cdot K_z \cdot F}{t_p} \right] \delta_1 \delta_2 \cdot \lambda \cdot K_n, \quad (5)$$

де $Q_{p\%}$ - максимальна злизова витрата $p\%$ -ної забезпеченості, м³/с;

Y_m - максимальний шар схилового притоку $p\%$ -ної забезпеченості, мм;

φ - коефіцієнт діючого шару стоку;

K_F - коефіцієнт редуції шару опадів по площі;

K_z - гідрографічний коефіцієнт;

t_p - час руслового добігання, год.;

δ_1 - коефіцієнт, який враховує вплив лісистості водозбору;

δ_2 - коефіцієнт, який враховує вплив зарегульованості стоку ставками та водосховищами;

λ - коефіцієнт ймовірності перевищення зливових максимумів;

K_n - перехідний коефіцієнт від максимальних миттєвих максимумів до середньодобових витрат.

Формула призначена для визначення зливових витрат води водотоків з площею водозбору від найменших ділянок до 2000 км².

Формула (5) набула широкого використання для вирішення водогосподарських задач і на сьогодні вона рекомендується для розрахунків гірських річок України ВНД 33.5.5-14-03. Річки гірські. Регулювання русел та догляд.

Для оцінки результатів обчислення за формулами (1, 3) нами виконано перевірені розрахунки витрат за регіональною формулою ВНД 33.5.5-14-03 “Львівдівпроводгоспу” В.В. Вакалюка для 108 створів та зіставлені з фактичними величинами витрат 1%-ної забезпеченості, визначених на підставі натурних даних.

Для порівняння також були використані результати розрахунків за формулою Ф.П. Вишневського[1]. Також було проаналізовано результати розрахунків за формулою СНиП 2.01.14-83.

Порівняння результатів розрахунків за формулами Ф.П. Вишневського, СНиП 2.01.14-83, ВНД 33.5.5-14-03 показало, що використання запропонованої методики визначення швидкості дозволило підняти забезпеченість 25%-го інтервалу похибок до 82%. Результати перевірконого розрахунку наведено на рис. 4 та в таблиці 2, з чого видно, що використання розрахункових формул 1 або 3 дає цілком задовільні результати.

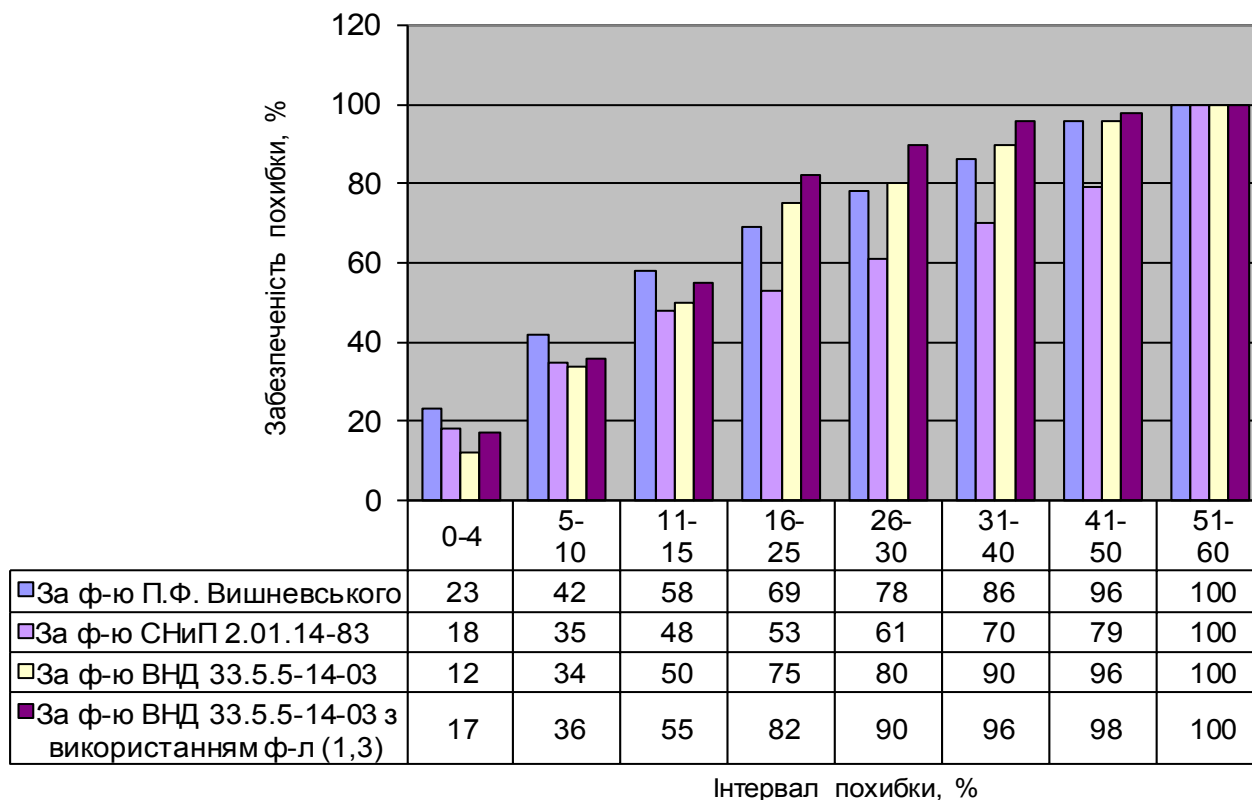


Рис. 4 - Оцінка точності формул (1, 3) при розрахунках максимальної зливної витрати

Таблиця 2 - Статистична оцінка результатів перевірконих розрахунків максимальних зливових витрат

Відхилення	Градації похибок, %								Всього
	0-4	5-10	11-15	16-25	26-30	31-40	41-50	51-60	
Вище спостережених, %	+7,4	+10,2	+8,3	+13,9	+2,8	+1,9	+0,9	+1,9	+47,3
Нижче спостережених, %	-10,1	-10,2	-5,6	-15,7	-5,6	-4,6	-0,9		-52,7

Значні розбіжності для деяких створів між обчисленими та спостереженими величинами максимальних зливових витрат обумовлені інколи низькою якістю вихідних даних по максимальних витратах, а в деяких випадках (особливо для великих водозборів) тим, що недостатньо враховані місцеві фактори, які подекуди істотно впливають на величину максимальної витрати.

Список використаної літератури

1. Вишневецький П. Ф. Зливи і зливовий стік на Україні / П. Ф. Вишневецький. – К. : Наукова думка, 1964.– 291 с.
2. Католиков В. М. Побочни в руслах рек: условия образования и их динамика / В. М. Католиков, З. Д. Копалиани // Водные ресурсы. – 2001. – Т.28, №5. – С. 579 – 586.
3. Попов И. В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство / Игорь Владимирович Попов. – Л. : Гидрометеиздат, 1960. – 363 с.
4. Гришанин К. В. Динамика русловых потоков / К. В. Гришанин. – Л. : Гидрометеиздат, 1979. – 311с.
5. Бухин М. Н. Основные типы русел рек Украинских Карпат / М. Н. Бухин, А. Н. Кафтан, В. А. Базилевич // Мелиорация и водное хозяйство. – Киев : Урожай, 1974. – Вып. 29. – С. 74 – 84.
6. Вакалюк В. В. Расчет максимальных ливневых расходов воды малых рек и временных водотоков Украинских Карпат: автореферат дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.14.09 «Гидравлика и инженерная гидрология» / В. В. Вакалюк. – Ровно, 1983. – 22 с.

Стаття надійшла до редакції 06.12.12 українською мовою

© В.М. Корбутяк, М.В. Корбутяк, А.Н. Кафтан

**Использование данных гидроморфологических обследований русел рек
Украинских Карпат для расчета ливневых паводков**

В работе показана возможность использования измерителей руслового процесса для определения максимальных ливневых расходов. В частности, предложено формулу для определения скорости добегающего расчетного расхода на основании параметра руслового процесса.

© V.M. Korbutyak, M.V. Korbutyak, O.N. Kaftan

**Use of data hydromorphological surveys riverbeds Ukrainian Carpathians
for calculation torrential floods**

At the present day evolution of fluviomorphological process theory gives new point of view on phenomena, that takes place in water flow. It opens up possibilities for determining hydrologic parameters by studying of main energetic, morphological and physiographical factors, that effect on forming of different riverbed types.