

УДК 627.81

канд. техн. наук, доцент Дупляк О.В.,

канд. техн. наук, доцент Величко С.В.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ РУСЛА Р. ДНІСТЕР З ВРАХУВАННЯМ ПІДПОРУ ПРИ ПРОХОДЖЕННІ ПАВОДКУ

Наведена послідовність розрахунку підпору в вузлах приєднання притоків до основного русла при проходженні паводкової витрати 1% забезпеченості на прикладі р. Дністер. Методика розрахунку була використана для визначення зон затоплення при проходженні паводку 1% забезпеченості та оцінки ефективності запропонованих активних та пасивних споруд захисту від паводків в басейні р. Дністер.

Ключові слова: паводкова витрата 1% забезпеченості, крива підпору, гідравлічний розрахунок, з'єднання потоків.

Постановка проблеми. Річка Дністер бере свій початок на північних схилах Карпатських гір на висоті близько 760 м над рівнем моря. Її довжина становить 1362 км, площа басейну – 72100 км².

Паводки в басейні річки Дністер формуються в будь-який час року і можуть бути зливого, снігового або сніго - дощового походження. Характерним є невелика тривалість паводків (3-5 дні). По величині підйому рівні води в річках часто бувають надзвичайними, викликаючи повені, що спричиняють великі збитки для населення, сільськогосподарського виробництва, навколишнього середовища. Для вирішення цієї проблеми було виконане моделювання пропускної здатності русла при проходженні паводків 1% забезпеченості в природних умовах та визначені зони затоплення. На основі аналізу зон затоплення були розроблені протипаводкові заходи пасивного характеру (будівництво дамб, берегоукріплень, заліснення схилів, розчищення русел річок) та активні (сухі гірські ємності, польдери). Для випадку повної реалізації протипаводкових заходів були виконані розрахунки рівнів води 1% забезпеченості за допомогою програми MIKE 11. Багаторічні спостереження за витратами та рівнями води в р. Дністер та її притоках показали, що періодично має місце одночасне проходження паводків рідкої повторюваності по притоку та основній річці, в результаті чого утворюється підпор. Значення збільшення рівнів води коливається в межах 0.2–0.5 м, що суттєво впливає на висоту захисних споруд в місцях з'єднання потоків.

Мета статті: запропонувати інженерну методику розрахунку кривої підпору для практичних цілей в місцях з'єднання потоків, в зв'язку з відсутністю нормативних документів або рекомендацій по розрахунку і проектуванню гідротехнічних споруд та технічного упорядкування вузлів з'єднання потоків.

Виклад основного матеріалу.

1. Аналіз існуючих методик розрахунку

В сучасній літературі є ряд робіт, присвячених дослідженню вузлів з'єднання потоків [1], [2]. Як правило, в цих роботах досліджуються лише окремі явища, що мають місце при злитті потоків.

В усіх роботах, присвячених цьому питанню, відмічається, що відразу за створом бокового притоку поверхня води приймає скривлену форму зі значним поперечним похилом до берега, в якому знаходиться устя притоку, а також повздовжнім похилом. Злиття потоків супроводжується втратами енергії місцевого характеру (так звані втрати на злиття), в результаті чого перед місцем з'єднання утворюються деяке підвищення горизонту води порівняно з тим, яке визначається залежністю $Q=f(h)$ для відповідного створу каналу при рівномірному русі. Роботи, присвячені дослідженню рівневого режиму у вузлі з'єднання потоків ґрунтуються на застосуванні закону про зміни кількості руху.

З'єднанням потоків займалась велика група вчених: Альферович А., Вейц І., Журін В., Мохов С., Скляднєв Б., Факторович М., Дупляк В.Д., Матвієнко О., Шліхта В., Бубнов В. та інші.

Загальна гідромеханічна теорія, яка могла б досить достовірно описати механізм з'єднання потоків під різними кутами у великому діапазоні співвідношень витрат, швидкостей, геометричних параметрів, на цей час відсутня.

Розрахунки за різними методиками та порівняння з існуючими даними показали, що найбільш надійно можливо розрахувати підпори при з'єднанні під кутом 90^0 за рівнянням (1), отриманим Дупляком В.Д. [3]:

$$\frac{\varepsilon^2}{\sigma_1(1+\sigma_1)} + \frac{\sigma_1^2}{6\sigma_n^3}(3+2\sigma_1) = \frac{1}{\sigma_2(1+\sigma_2)} + \frac{\sigma_2^2}{6\sigma_n^3}(3+2\sigma_2) \quad (1)$$

а при співвідношенні витрат бокового та прямого потоків до з'єднання більше 0.3 - з поправкою Шліхти В. [4]:

$$\Delta h = K_L \frac{Q_3}{Q_1} \left(2 + \frac{Q_3}{Q_1} \right) \frac{V_1^2}{g} \quad (2)$$

$$\text{де } \varepsilon = \frac{Q_1}{Q_2}; \sigma_1 = \frac{m_1 h_1}{b_1}; \sigma_2 = \frac{m_2 h_2}{b_2}; \sigma_n = \frac{m h_k}{b};$$

Q_1, Q_2 - витрата в основному руслі до з'єднання та після з'єднання потоків;
 Q_3 - витрата в боковому руслі; $m_1 = m_2 = m$ - укоси основного русла відповідно до та після з'єднання; $h_1; h_2; h_3$ - глибина води, відповідно, в прямому руслі до з'єднання потоків та після з'єднання та в боковому руслі; $b_1 = b_2 = b$ - ширина основного русла; $K_L = 1,2$ - експериментальний коефіцієнт, який враховує додаткові втрати енергії на границі розділу транзитного потоку в коловоротній області; V_1 - швидкість руху в основному руслі до з'єднання;

$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q_2^2}{g b^2}}$ - критична глибина умовного прямокутного русла, яке має ширину, що дорівнює ширині трапецеїдального прямого русла за вузлом з'єднання.

2. Методика розрахунку підпору

З'єднання потоків під кутом ϕ бокового русла до прямого відбувається за схемою, представленою на рис.1 за наступних припущень:

- відсутності перепони в прямому руслі;
- форма русла приведена до трапецеїдальної;
- однаковий переріз русла до з'єднання та після ($b = \text{Const}$ і $m = \text{Const}$);
- похил основного русла близький до нуля.

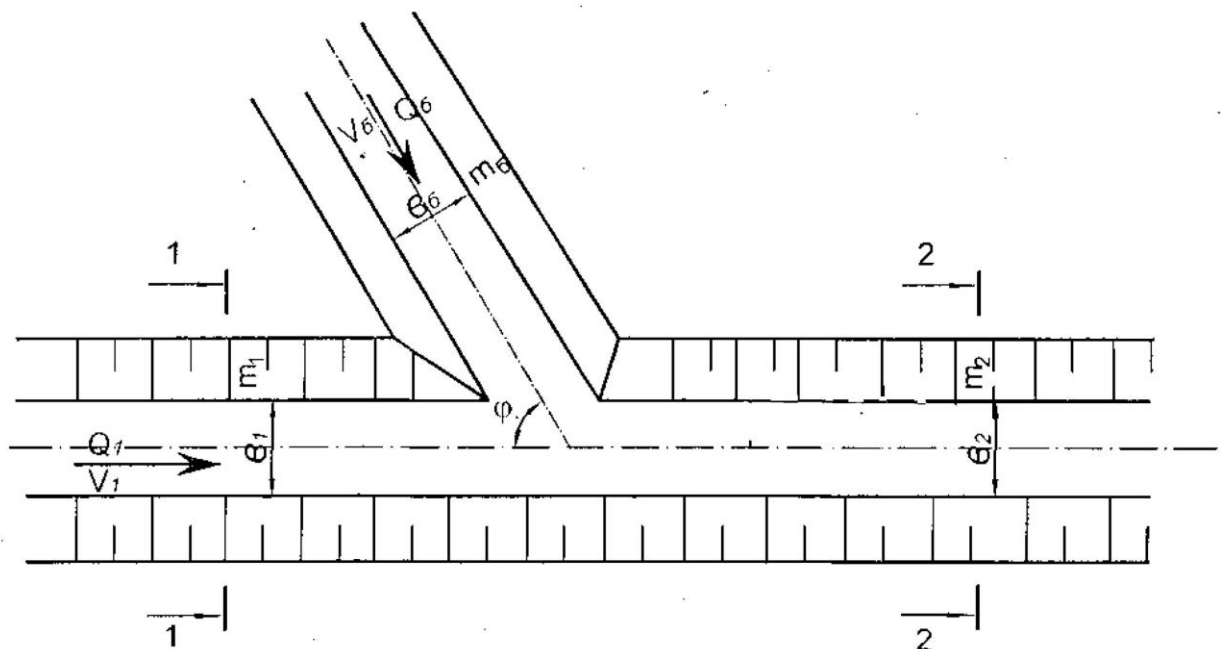


Рис.1. Схема з'єднання потоків

В загальному вигляді для кутів з'єднання 90° та близьких до них додатковий підпор описується рівнянням:

$$\frac{\varepsilon^2}{\sigma_1(1+\sigma_1)} + \frac{\sigma_1^2}{6\sigma_n^3}(3+2\sigma_1) = \frac{1}{\sigma_2(1+\sigma_2)} + \frac{\sigma_2^2}{6\sigma_n^3}(3+2\sigma_2) + \left| \frac{\sigma_3^2}{6\sigma_n^3}(3+2\sigma_3)\cos\varphi \right| \quad (3)$$

Якщо $\varphi=90^\circ$, то рівняння спрощується:

$$\theta = \frac{\varepsilon^2}{\sigma(1+\sigma)} + \frac{\sigma^2}{6\sigma_n^3}(3+2\sigma), \quad (4)$$

де φ - кут з'єднання потоків; θ - константа, визначається за графіками [5].

В загальному випадку рішення рівняння (3) можливо отримати методом підбору (поступового наближення).

Глибина потоку перед з'єднанням буде:

$$h_1 = \frac{\sigma_1 \theta_1}{m_1} = h_2 + \frac{\Delta \sigma \theta_2}{m_2} \quad (5)$$

Результати розрахунків по залежності (3) та (4) при $Q_3/Q_1 > 0,3$ можуть давати дещо занижені значення підпору перед вузлом з'єднання потоків. В такому випадку рекомендується проводити перевірку за залежностями отриманими в роботі [5]:

$$h_1 = h_2 + 2,24 \frac{Q_3}{Q_1} \left(2 + \frac{Q_3}{Q_1} \right) \cdot \frac{Q_1^2}{2g \cdot \omega_2^2} \quad (6)$$

3. Апробація методики

Побудові розрахункових схем вузлів з'єднання потоків різної забезпеченості передувало детальне обстеження в натурі гирлових ділянок річок, фотографування, їх ідентифікація на картах, побудова на основі існуючих топографічних матеріалів поперечних перерізів русел в розрахункових створах.

Для розрахунків приймалась однакова забезпеченість витрати води як основної річки так і її приток. Максимальні рівні води при проходженні паводків 1% забезпеченості визначались при моделюванні на програмному забезпеченні MIKE 11 за даними значень витрат та рівнів води на гідрологічних постах. Якщо гідрологічні пости на притоці були відсутні, то значеннями витрат розраховувались за створами аналогами. Результати розрахунків порівнювались з заміряними на гідропостах та відновленими рівнями води по міткам високих вод. Основними притоками р. Дністер є Бистриця Тисьменецька, Стрий, Свіча, Сукіль, Лімниця, Бистриця та значна кількість малих приток. Лінійна схема р. Дністер представлена на рис. 2. Для кожного вузла з'єднання розраховувалась витрата основної річки до з'єднання та після та витрата бокової притоки. Параметри перерізу приводились до трапецеїдальної форми.

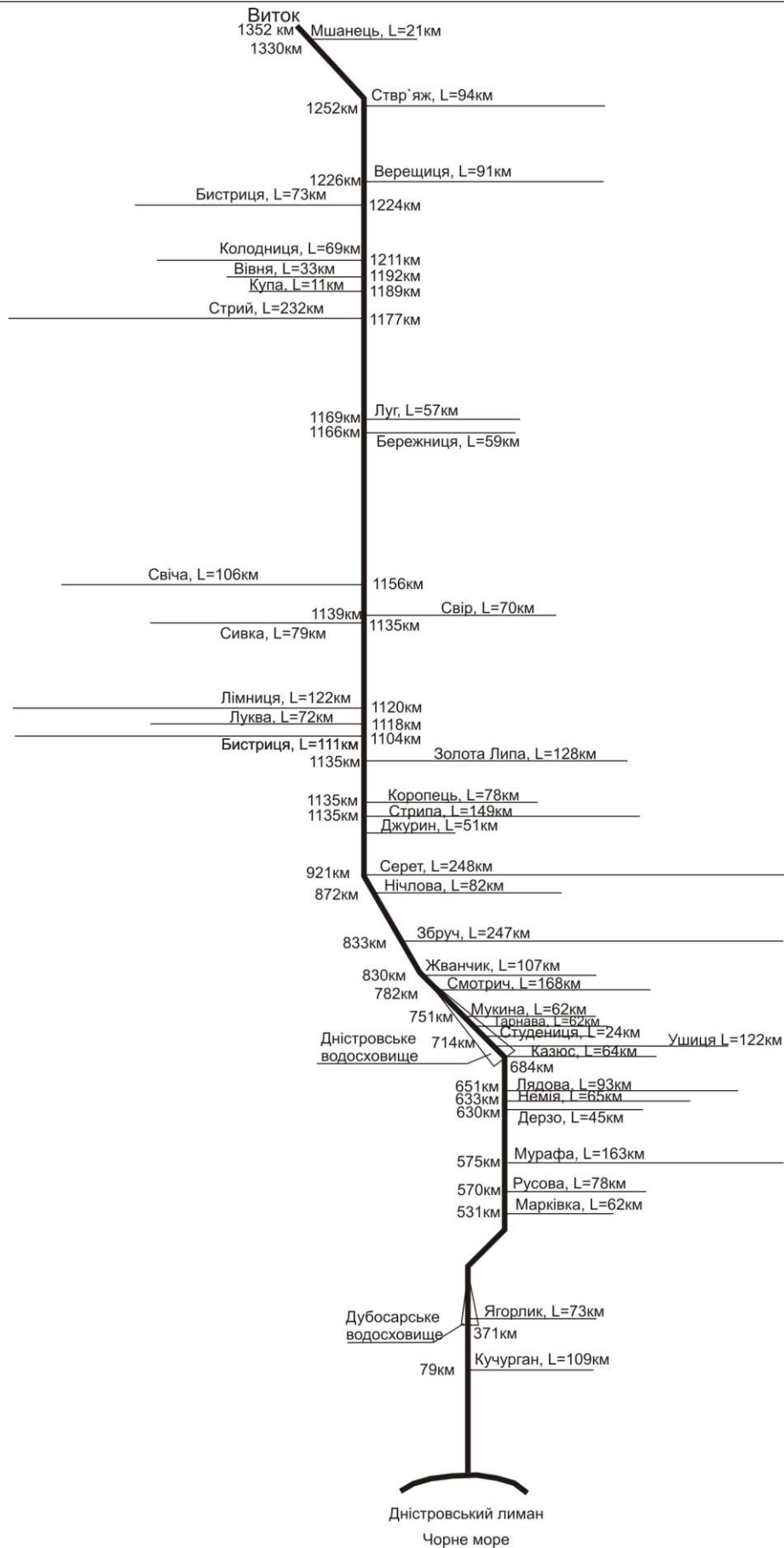


Рис.2. Лінійна схема р. Дністер

4. Результати та дискусія

Використовуючи рівняння (3), (4) та (5) були проведені розрахунки підпору у вузлах з'єднання р. Дністер з її притоками за формулою (5) та по уточненій формулі (6). Результати розрахунків на основних притоках представлені в таблиці 1.

Аналіз гідрологічних даних щодо величин паводків рідкої повторюваності в басейні р. Дністер, показує, що бокові притоки за невеликим виключенням (р.р. Стрий, Лімниця, Бистриця) мають значно менші витрати ніж основна річка, і підпори від впадіння таких річок не утворюються.

Таблиця 1. Визначення підпорів в вузлах р. Дністер

Бокова притока	Q_3/Q_1	Підпор, м (5)*	Підпор, м (6)**
Бистриця	0.56	0.60	0.59
Золота Липа	0.02	0.00	-
Коропець	0.03	0.00	-
Бистриця Тисменицька	0.47	0.50	0.66
Стрий	1.09	1.09	1.10
Лімниця	0.56	0.86	1.00
Свіча	0,40	1.2	1.4

* h_1-h_2 розраховане за формулою (5)

** h_1-h_2 розраховане за формулою (6)

Підпори від річок що мають співвідношення до основної річки більше 30% можуть сягати від 0,3 до 1,30 м, що необхідно враховувати при розрахунках.

Необхідно відмітити, що починаючи з верхів'я Дністровського водосховища вниз за течією р. Дністер вплив бокового притоку на рівень води практично відсутній.

Висновки. Наведена послідовність розрахунку підпору в вузлах з'єднання основної річки з притоком. Подана методика розрахунків достатньо проста, не вимагає спеціального обладнання і може використовуватись для інженерних розрахунків. Апробація даної методики розрахунку показала, що при співвідношенні витрати притоку та основної річки $Q_3/Q_1 < 0.2$ підпор практично відсутній (значення в межах точності розрахунків). При співвідношенні $Q_3/Q_1 > 0.3$ та куті з'єднання меншим за 90° розрахунок за формулою (6) дає дещо більші значення, які краще співпадають з результатами спостережень. Отже при $Q_3/Q_1 > 0.3$ та куті меншим за 90° розрахунок необхідно вести по формулі (6).

Література:

1. Мухамедов Д.А. Гидравлика узлов сопряжения открытых спокойных потоков. Автореферат дисс. ...соиск. уч. ст. док. техн. наук - М.: Госстрой России, 1993. - 50 с.
2. Козлов Д.А., Будыка С.Х. Определение глубины в зоне слияния безнапорных потоков под углом $\pi/2$. – М.: Док. АН БССР, т.20, № 7, 1976. - С. 649-652.
3. Дупляк В.Д. Определение глубин воды в трапецеидальном канале в зоне соединения с боковым потоком, поступающим под углом $\pi/2$. – К.: Мелиорация и водное хозяйство, вып. 33, 1975. – С. 86-96.
4. Шлихта В.М. Кинематика потока в узле слияния за трубчатыми выпускными сооружениями. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, Ровно, 1990. -173 с.
5. Дупляк О.В., Величко С.В. Дослідження впливу трансформації 1% паводкової витрати сухими гірськими ємностями на рівні паводкової витрати річок басейну Тиси. – К.: КНУБА, НТЗ “Проблеми водопостачання, водовідведення і гідравліки”, №23, 2014. – С.45-52.
6. ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення. - К.: Мінрегіонбуд України, 2010.

Аннотация

Приведена последовательность расчета подпора в узлах соединения притока с основным руслом при прохождении паводкового расхода 1% обеспеченности на примере р. Днестр. Методика расчета была использована для определения зон затопления при прохождении паводка 1% обеспеченности и оценки эффективности предложенных активных и пассивных сооружений защиты от паводков в бассейне р. Днестр.

Ключевые слова: паводковый расход 1% обеспеченности, кривая подпора, гидравлические расчеты, слияние потоков

Abstract

The following sequence of calculation is proposed in the point of confluence of main river and tributary during flood of 1% probability on the example of Dniester River. The method of calculation was used to determine flood zones during flood of 1% probability and assessment of effectiveness of the proposed active and passive flood protection structures in the Basin of Dniester River.

Key words: 1% probability flood, backwater curve, hydraulic calculation, confluence of flows.