



УДК 627.13:519.711.3

- © О.С. Славінська, докт. техн. наук, професор,
- © В.Я. Савенко, докт. техн. наук, професор (НТУ)

## МЕТОД РОЗРАХУНКУ РОЗМИВІВ НА ЗАПЛАВНИХ ДІЛЯНКАХ В ЗОНІ ВПЛИВІВ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ

**Анотація.** Запропоновано якісно новий метод розрахунку розмивів на заплавах в зоні впливів мостових переходів, який враховує особливості протікання відкритих потоків у цих зонах. Метод ґрунтується на підході, згідно з яким розподіл поля швидкостей та глибин в плані потоку визначається з урахуванням розподіленої сили, яка діє в шарі рослин, сили зчеплення ґрунту, сили опору при обтіканні мостових опор.

**Ключові слова:** розмив, заплавна ділянка, мостовий перехід.

**Аннотация.** Предложено качественно новый метод расчета размывов на поймах в зоне влияния мостовых переходов, учитывающий особенности протекания открытых потоков в этих зонах. Метод основан на подходе, согласно которому распределение поля скоростей и глубин в плане потока определяется с учетом распределенной силы, которая действует в слое растений, силы сцепления грунта, силы сопротивления при обтекании мостовых опор.

**Ключевые слова:** размыв, пойменный участок, мостовой переход.

**Annotation.** Proposed a new method for calculating the erosion on the flood zone influences bridges, which takes into account the peculiarities of open flows in these areas. The method is based on an approach under which the distribution of the velocity field and depth in terms of the flow is determined by the distributed forces acting in a layer of plants, soil adhesion forces, the forces resisting flow around bridge supports.

**Key words:** erosion, floodplain area, bridge.

### Вступ

Основою для правильного призначення необхідних розмірів споруд мостового переходу є прогнози можливого притоку води до мосту і неминучих загальних та місцевих руслових деформацій. Зона впливу мостового переходу розповсюджується не тільки на русло річки, а й на заплавні частини. При цьому суттєво те, що витрата заплавного потоку може перевищувати руслову.

Після перекриття частини заплави по ширині насипами підходів вода почне притікати до мосту і через стислий перетин річки проходитимуть збільшені витрати води. Збільшення витрат води супроводжується зростанням швидкостей течії, що призводить до посиленого виносу частинок ґрунту, тобто до розмиву принаймні на одній, а в деяких випадках і на обох заплавних ділянках отвору мосту. Відповідно, на заплавах відбувається територіальний перерозподіл водних ресурсів, виникає проблема у регу-

люванні стоку, прогнозуванні пропускної здатності та розвитку деформацій.

Поверхня заплави переважно покрита рослинністю, різною за густотою та розмірами заростей, що впливає на пропускну її здатність. Таким чином, зона дослідження розвитку деформацій в зоні впливів мостових переходів повинна охоплювати два постійно взаємодіючі потоки з різною шорсткістю – русловий і заплавний.

Дослідників переважно цікавить лише пропускна здатність зарослих ділянок заплави, тому запропоновані рішення мають переважно емпіричний характер. Для заплавних ділянок не запропоновано математичних моделей, які дозволяють враховувати особливості цих ділянок, стосовно розподілу рослинності та намулу. Існуючі моделі дають можливість визначити розподіл середньої по вертикалі швидкості над шаром рослинності однорідних потоків з урахуванням коефіцієнта гідравлічної шорсткості [1], що в кінцевому



результаті не дає змоги отримати реальний розподіл швидкісної структури та деформацій на заплавах.

**Мета цієї роботи** – представити методику, яка призначена для прогнозування розподілу глибин і швидкостей та відповідного розвитку деформацій на заплавах ділянках можливих інтенсивних перетворень в зоні впливу мостових переходів.

### Основна частина

Авторами запропоновано метод розрахунку розмивів на рівнинних і передгірських заплавах ділянках річок, який ґрунтується на двовимірних математичних моделях потоку, що переносить завесь, із трав'яною рослинністю [2]. Метод містить в собі підхід, згідно з яким розподіл поля швидкостей та глибин в плані потоку визначається з урахуванням розподіленої сили, яка діє в шарі рослин, сили зчеплення ґрунту, сили опору при обтіканні мостових опор.

Для побудови замкненої системи рівнянь заплавної потоку було вирішено три основне завдання: сформульовано вихідну систему рівнянь переносу маси та імпульсу для актуальних параметрів течії заплавної потоку з рослинністю; перейдено до рівнянь для усереднених величин в умовах квазіусталеної течії води; отримано скінченно-різницевої аналоги рівнянь, обґрунтовано вибір та сформульовано початкові і граничні умови для розв'язування рівнянь запропонованих математичних моделей.

Визначення параметрів розрахункової області на заплавах ділянках обумовлені зоною впливу мостового переходу, яка за протяжністю складається із двох зон – стиснення і розтікання, – де формується загальний розмив річкового потоку. В якості початкових умов використовується в одномірній постановці рівняння усталеного нерівномірного руху у відкритих руслах для отримання відміток вільної поверхні. Основним вихідним параметром для розрахунку розподілу швидкостей і глибин є визначення трансформації витрати заплавної потоку на мостових переходах. Розрахунок зони впливу мостового переходу, витрат на заплавах ділянках потоку та глибин на всіх розрахункових поперечниках проводиться на основі розв'язку, що розроблений С.Г. Ткачуком [3]. Запропонований підхід в роботі [3] до розв'язання початкової задачі базується на методі Ю.В. Абрамова з використанням властивостей центральної струмини річкового потоку в зоні штучного стиснення.

Розподіл по ширині заплавної потоків осереднених по вертикалі швидкостей та глибин на розрахункових поперечних перетинах передбачає розв'язування скінченно-різницевим методом основних рівнянь відкритого потоку в умовах квазіусталеної течії води у вигляді:

- поздовжньої рівноваги потоку:

$$\begin{aligned} [\alpha_h - N_p 2\Lambda] 2U \frac{\partial U}{\partial x_1} = & - \left( g - N_p \Lambda \frac{U^2}{h} + N_{ch} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - \\ & - h \left( -N_p \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right) + N_{ch} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2} \right) - \\ & - \left[ \frac{C_f}{h K_\Phi} + N_p \alpha_h \right] U^2, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\alpha_h$  – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу швидкостей по вертикалі;

$N_p$  – коефіцієнт, який враховує опір елементів рослинності на заплаві;

$\Lambda$  – коефіцієнт турбулентного обміну;

$U$  – поздовжня швидкість потоку, м/с;

$x_1, x_2$  – поздовжні та поперечні координати;

$h$  – глибина заплавної потоку, м;

$N_{ch}$  – коефіцієнт, який враховує опір відриву зерна ґрунту в придонній області заплавної потоку;

$\langle \bar{S} \rangle$  – осереднена по вертикалі мутність потоку,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$C_f$  – емпіричний коефіцієнт тертя;

$K_\Phi$  – коефіцієнт, який враховує вплив форми поперечного перетину заплави;

- поперечної рівноваги потоку:

$$\begin{aligned} \left( g - N_p \Lambda \frac{U^2}{h} + N_{ch} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} = & - h \left( -N_p \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right) + N_{ch} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_2} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2} \right) + N_p \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2}, \end{aligned} \quad (2)$$

- рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial U h}{\partial x_1} = 0. \quad (3)$$

На межах розрахункової області, у вузлах, сусідніх з твердими поверхнями – дамбами мостового переходу, в якості межових використовується залежність для швидкості:

$$U_{i,j} = \frac{U_{\tau_{i,j}}}{\kappa} \ln \left( (x_2)_c^+ E \right), \quad (4)$$

де  $U_{\tau_{i,j}}$  – динамічна швидкість на заплавах;

$\kappa$  – параметр Кармана;

$(x_2)_c^+$  – безрозмірна відстань від стінки [4], визначають за залежністю (5);

$E$  – коефіцієнт шорсткості [4],

$$E = \frac{1}{\beta} = 8,8; \quad \beta = 0,111;$$

$$(x_2)_c^+ = \frac{\Delta x_2 U_{\tau_{i,j}}}{\nu}, \quad (5)$$

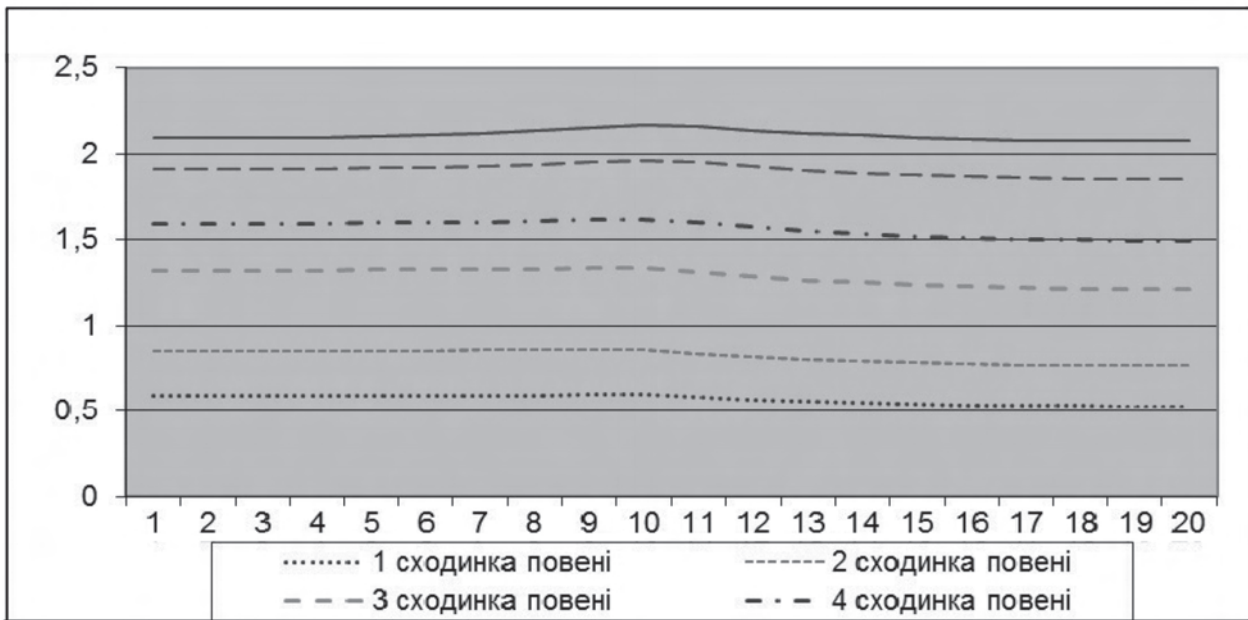


Рис. 1. Розрахунок глибин потоку  $h_i$  (1 – 10 крок – зона стиснення, 11 – 20 крок – зона розтікання потоку)

Безпосередньо на самих твердих поверхнях (стілці дамби, мостової опори), а також для випадку пологих берегів діє умова прилипання, тобто значення швидкості потоку приймається рівним нулю.

Гранична відмітка вільної поверхні  $H$ , як для випадку пологих берегів, так і для випадку вертикальних стінок (крутих берегів, мостових опор, дамб), визначається за допомогою лінійної екстраполяції [4] за значеннями відміток вільної поверхні внутрішніх точок розрахункової області:

$$H(x_1, x_2) = 2H(x_1, x_2 - 1) - H(x_1, x_2 - 2). \quad (6)$$

При розрахунку руслових деформацій на мостових переходах важливо встановити не тільки середні глибини, але і максимальні, такі, що визначають необхідну глибину закладання основ опор мосту. Відповідно, при проектуванні мостових переходів визначають величину максимального розмиву, який може відбутися у процесі експлуатації мосту при розрахунковій повені або паводку. На відміну від врахованих в рівняннях (1) і (2) складових сил опору рослинності та сили зчеплення, розподіл яких розглядають по всьому розрахунковому об'єму заплавного потоку, сила опору при обтіканні мостових опор призводить до локального порушення структури річкового потоку. Розрахунок в зоні впливу мостових опор проводиться за рівнянням переносу швидкості заплавного потоку з трав'яною рослинністю з урахуванням сили опору при обтіканні мостових опор. У цьому рівнянні до коефіцієнта, який

враховує опір елементів рослинності на заплаві  $N_p$  додається коефіцієнт, який враховує опір при обтіканні мостових опор  $N_{pier}$ .

Розрахунок загального та максимального розмиву було проведено на заплавних ділянках підмостового русла на р. Горинь біля с. Ремчиці на автомобільній дорозі Городище – Рівне – Старокостянтинів, км 50+589, Рівненська область.

Заплава р. Горинь переважно двостороння, чергується по берегах. Грунти мулисто-піщані та глинисті, на заболочених ділянках торф'янисті. Щорічно в період весняної повені та дощових паводків заплава затоплюється на глибину від 0,5 м до 3,3 м на 1 – 2 тижні, на пониженнях вода тримається протягом 1 – 3 місяців. Запроектований автодорожній міст перетинає р. Горинь під кутом  $26^\circ$ , має довжину 297 м. Розрахунок проводився на ділянці р. Горинь довжиною 220 м, шириною – 540 м.

На початковому етапі було визначено положення кривої вільної поверхні річкового потоку в одномірній постановці, відповідно до методу, запропонованого в роботі [3], результати розрахунку наведені на **рис. 1**.

Наступні розрахунки проводили за скінченно-різницевиими аналогами диференціальних рівнянь розподілу глибин і швидкостей на основі початкових відміток поверхні рельєфу дна потоку русла та заплав (**рис. 2**), відповідно на кожній гілці повені або паводку, на певну добу. Результати розрахунку зручно наводити у вигляді тривимірного графіка.

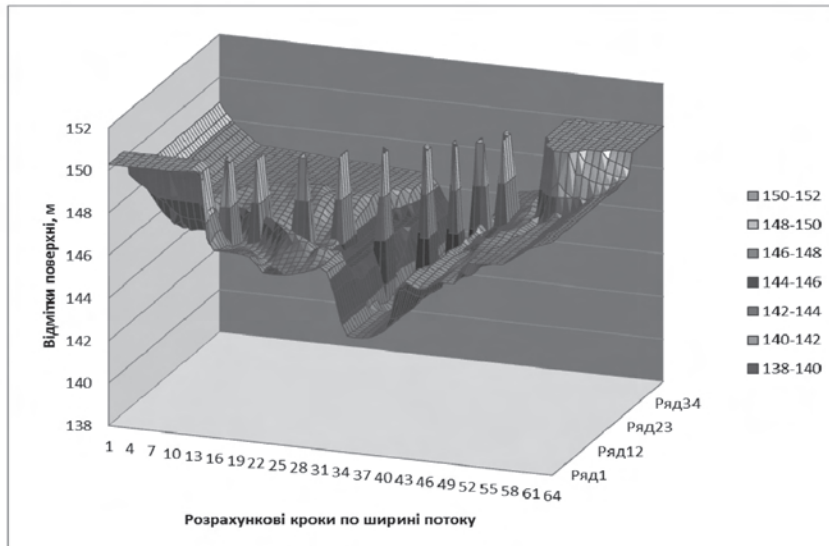


Рис. 2. Початкові відмітки поверхні  $Z_{f-p}$  рельєфу дна потоку русла та заплав на розрахунковій області до проходження повені

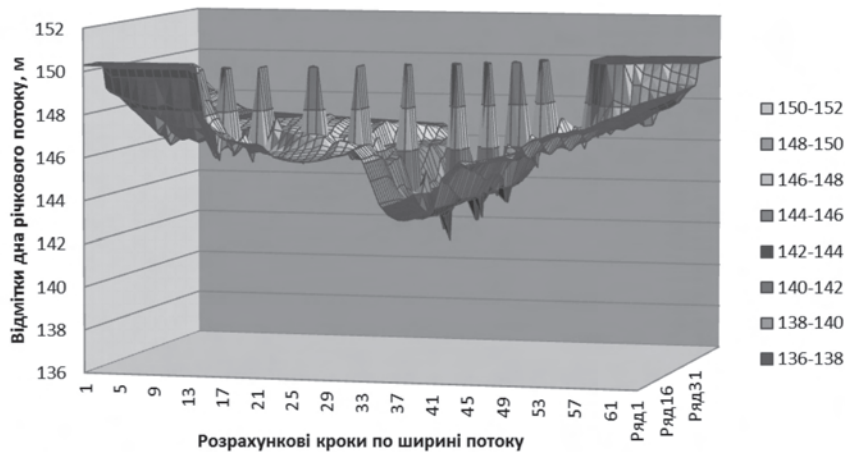


Рис. 3. Відмітки поверхні рельєфу дна заплав після 6-ї сходишки розрахункового паводку

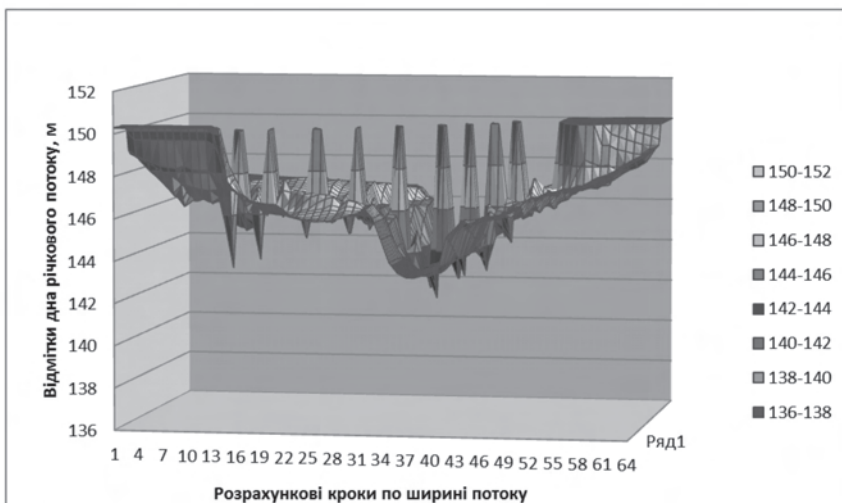


Рис. 4. Відмітки поверхні рельєфу дна заплав з урахуванням опору від впливу мостових опор після 6-ї сходишки розрахункового паводку

Розмив русла р. Горинь зупиняється лише на спаді весняної повені після шостої за вихідним гідрографом розрахункової сходишки. Згідно з розрахунками проведеними за розробленою методикою розмив більшої заплави становить  $h_p = 0,96$  м, меншої заплави –  $h_p = 1,28$  м (рис. 3). Відповідно до розрахунку, величина максимального розмиву, з урахуванням впливу опору мостових опор, на більшій заплаві становить  $h_p = 2,75$  м, на меншій заплаві –  $h_p = 1,86$  м (рис. 4).

На підставі отриманих розрахунком розмірів розмиву на заплавах може бути виконане проектування кріплення дна.

### Висновок

Запропонована авторами якісно нова “Методика розрахунку розмивів на заплавах в зоні впливів мостових переходів” [2] враховує специфічні умови переносу як конвективних, так і турбулентних характеристик течії при обтіканні потоком рослинності та мостових опор. Використання запропонованої методики для вирішення завдань проектування мостових переходів, дасть змогу більш обґрунтовано визначати величини загальних та максимальних розмивів, які є визначальними при призначенні генеральних розмірів мостів, що в кінцевому результаті підвищує надійність та довговічність цих споруд.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Лятхер В.М., Гурін І.Н. Гидравлические характеристики потоков над поверхностью, покрытой травянистой растительностью // Водные ресурсы № 3. – 1978. – С. 159 – 168.
2. Методика розрахунку розмивів на заплавах в зоні впливів мостових переходів / М 02070915 – 710:2012.
3. Прогнозування руслових деформацій на мостових переходах. Частина 3 і 4 : Навчальний посібник / Ткачук С.Г. – К.: НТУ, 2004. – 98 с.
4. Моделирование процессов развития внутренних течений с учетом анизотропии открытых турбулентных потоков : монография / Савенко В.Я., Славинская Е.С. – К.: НТУ, 2004. – 176 с.