

УДК 627.13:519.711.3

Славінська О. С.<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>Цинка А. О.<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-0357-2325><sup>1</sup> Національний транспортний університет, м. Київ, Україна<sup>2</sup> Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

### **ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ НА ЗАПЛАВАХ З УРАХУВАННЯМ ОПОРУ ПРИ ОБТІКАННІ МОСТОВИХ ОПОР**

#### **Анотація**

**Вступ.** Розмивні процеси на заплавах суттєво відрізняються від руслових деформацій, що обумовлено не тільки їх геологічною будовою, а також наявністю рослинного покриву. З метою прогнозування розмивних процесів на заплавах ділянках в зоні впливу мостових переходів проведено велику кількість експериментальних та числових досліджень розподілу швидкісної структури та глибини. Лишається відкритим питання, щодо врахування багатьох особливостей заплавних ділянок в зоні отвору мостового переходу.

**Проблематика.** При проектуванні мостових переходів одне із найважливіших питань — величина максимального розмиву, який може відбутися у процесі експлуатації мосту при розрахунковій повені або паводку. Відповідно, при розрахунку деформацій не тільки в руслі, а і на заплаві в зоні отвору мостового переходу важливо встановити максимальні глибини, які достатньо точно визначають необхідну глибину закладання основ опор мосту.

**Мета роботи.** Прогнозування максимальних розмивів на заплавах ділянках із урахуванням сили опору при обтіканні мостових опор.

**Матеріали та методи.** Представлена робота ґрунтується на положеннях теорії механіки суцільного середовища, неоднорідних потоків та теорії мілкої води, на методах математичного моделювання, методах числового моделювання.

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. Числова реалізація запропонованих математичних моделей за ітераційними методами розрахунку гідродинамічних характеристик заплав з рослинністю обумовила необхідність формулювання початкових та граничних умов для врахування характерних особливостей руху заплавних потоків в зоні впливу мостових переходів.

**Результати.** Розроблена двовимірна математична модель дозволяє враховувати особливості заплавних ділянок стосовно розподілу рослинності, намулку та опір при обтіканні мостових опор.

За запропонованим методом були визначені гідродинамічні показники заплавних ділянок р. Сіверський Донець на автомобільній дорозі Т-05-14 в межах Донецької області, у тому числі, поздовжня швидкість з урахуванням сили опору від обтікання мостових опор та відмітки донної області після проходження паводку за розрахунковими сходами. Максимальна поздовжня швидкість на початку спаду повені змінюється в межах від 2,45 м/с до 2,32 м/с, відповідно на меншій та більшій заплавах. Глибина розмиву дна змінюється в діапазоні від 0,19 м до 1,91 м на меншій заплаві та від 0,035 м до 2,75 м — на більшій заплаві.

**Висновки.** Запропонована двовимірна математична модель заплавного потоку, яка дозволяє визначити розподіл середніх швидкостей та глибин з дотриманням узгодженості з полем тиску та з урахуванням особливостей досліджуваної області з опорами на заплавах ділянках у створі

мостового переходу. За результатами її числової реалізації на ділянці р. Сіверський Донець встановлено величину максимального розмиву, що є відправним показником при призначенні глибини закладання основ опор мосту. Глибина максимального розмиву на більшій заплаві складає 2,75 м, на меншій — 1,91 м, що обумовлено врахуванням впливу опору при обтіканні мостових опор та ступенем стиснення потоку між ними.

**Ключові слова:** заплава, заплавний потік, міст, мостовий перехід, мостова опора, мостовий отвір, розмив, сила опору.

## Вступ

При розрахунку деформацій у руслі та на заплаві в зоні впливу мостового переходу важливо встановити не тільки середні глибини, але і максимальні, такі, що достатньо точно визначають необхідну глибину закладання основ опор мосту. Відповідно, при проектуванні мостових переходів одне із найважливіших питань — величина максимального розмиву, який може відбутися у процесі експлуатації мосту при розрахунковій повені або паводку.

Результати лабораторного дослідження розвитку місцевого розмиву на заплавній ділянці моделі річки наведені в роботі [1]. Запропоновано співвідношення для прогнозування максимальної глибини біля мостової опори, яке ґрунтується на таких параметрах, як ширина русла та заплави, число Фруда, розмір часток наносів. У роботі [2] представлено результати числового моделювання річкового потоку з мостовим переходом. На основі двовимірних, усереднених за глибиною, математичних моделей отримано розподіл швидкостей та глибин біля мостових опор із урахуванням стиснення руслового та заплавного потоків. Експериментальні дослідження з розвитку місцевого розмиву біля мостової опори, проведені в умовах, максимально наближених до натурних, наведені в роботі [3]. Проаналізовано час розвитку місцевих розмивів, їх конфігурації, особлива увага приділялася зонам переходу русла на заплаву.

Для визначення величин місцевих зосереджених розмивів біля ряду гідротехнічних транспортних споруд, зокрема струмененапрямних дамб мостових переходів, мостових опор, огорожувальних дамб, руслорегулюючих півзагат тощо, використовували методику [4]. У методиці [4] прийняті концептуальні схеми формування розмивів, які включають найбільш небезпечні сполучення умов і, зокрема, наявність у багатьох випадках донного вихорового вальця, що підсилює інтенсивність вимиву та виносу розмитого ґрунту на один-два порядки.

Розмивні процеси на заплавах суттєво відрізняються від руслових деформацій, що обумовлено не тільки їх геологічною будовою, а також наявністю рослинного покриву. З метою прогнозування розмивних процесів на заплавних ділянках в зоні впливу мостових переходів розроблена математична модель зависеного потоку з трав'яною рослинністю [5]. Запропонована авторами двовимірна модель ґрунтується на рівнянні розподілу швидкісної структури та глибини заплавного потоку з урахуванням сил опору при обтіканні рослинності та опору розмиву дрібнозернистих ґрунтів. Наведений аналіз досліджень обумовлює нову, актуальну наукову проблему з визначення величини максимального розмиву на заплавних ділянках в отворі мостового переходу з урахуванням особливостей цієї зони.

Метою даної роботи є прогнозування максимальних розмивів на заплавних ділянках із урахуванням сили опору при обтіканні мостових опор.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- проаналізувати та визначити силовий фактор, що враховує опір при обтіканні мостових опор;
- удосконалити математичну модель для зависеного заплавного потоку з дотриманням узгодженості з полем тиску та з урахуванням сили, що враховує опір при обтіканні мостових опор;

— провести обчислення максимальних розмивів на заплавних ділянках річки в зоні отвору мостового переходу за запропонованою математичною моделлю в комплексі зі сформованими межовими умовами.

## Основна частина

Запропонована в роботі авторів [5] модельна форма рівнянь заплавного потоку ґрунтується на припущенні про мализну часток та мализну прискорень неоднорідного потоку порівняно з прискоренням сили тяжіння. У двовимірній моделі враховано закон розподілу осередненого гідростатичного тиску по вертикалі та розподілу зважених наносів, вплив сили зчеплення дрібнозернистих ґрунтів та сили опору рослинності.

На відміну від врахованих у модельних рівняннях заплавного потоку [5] складових сил опору рослинності та сили зчеплення, розподіл яких розглядається по всьому розрахунковому об'єму заплавного потоку, сила опору при обтіканні мостових опор призводить до локального порушення структури річного потоку.

При обтіканні мостової опори виникає місцеве порушення структури основного потоку, врахувати яке можна через динамічні характеристики потоку, що набігає, та безпосередні розміри споруди, шляхом включення у модельні рівняння складової сили опору при обтіканні мостових опор.

Математична модель зависенесного заплавного потоку ґрунтується на вихідних рівняннях Рейнольдса, які представлені в скалярній формі через проекції на осі декартових координат:

$$\frac{\partial \bar{V}_i}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial \bar{V}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho_{LS}} \frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{V}_i \bar{V}_j'}{\partial x_j} - g_i - \sum \bar{f}_i, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_j} = 0, \quad (2)$$

де  $x_i$  ( $i=1,2,3$ ) — координати;  
 $\rho_{LS}$  — густина води, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  — прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\sum \bar{f}_i$  — сума масових сил;

$\bar{V}$  — осереднена швидкість потоку;

$\bar{V}_j \bar{V}_i'$  — турбулентні або рейнольдсові напруження;

$p$  — тиск;

$t$  — час.

Силу опору при обтіканні мостових опор, згідно [6], визначають за залежністю:

$$\bar{f}_{pier} = \frac{1}{2\bar{V}} C_{pier} S_{pier} \left( \bar{V}^2 \bar{V}_i + \bar{V}_j \bar{V}_j' \bar{V}_i' \right), \quad (3)$$

де  $V = \sqrt{\sum_{i=1+3} \bar{V}_i^2}$  — актуальна швидкість;

$C_{pier}$  — коефіцієнт опору при обтіканні опори;  
 $s_{pier}$  — міделева площа при обтіканні опори.

У тонкому шарі потоку, певної області навколо опор, глибиною  $\Delta x_3 \approx h$  та, відповідно, об'ємом  $q_{pier} = B_{pier} L_{pier} h_{pier}$  міделева площа при обтіканні опори складає:

$$s_{pier} = \frac{K_f l_{pier} b_{pier}}{B_{pier} L_{pier} h}, \quad (4)$$

де  $K_f$  — коефіцієнти форми опори, для незатоплених мостових опор визначаються за даними [7];

$l_{pier}$  — довжина опори, при косому набіганні потоку  $l_{pier} = l_{opier} \cos \alpha_{pier}$ ;  
 $b_{opier}$  — ширина опори, при нормальному набіганні потоку  $b_{pier} = b_{opier}$ , при косому набіганні потоку  $b_{opier} = l_{opier} \sin \alpha_{pier} + b_{opier} \cos \alpha_{pier}$ ;

$\alpha_{pier}$  — кут набігання потоку на мостову опору;

$L_{pier}$  — довжина опори в поздовжньому напрямку (довжина області, що задається навколо опори);

$B_{pier}$  — ширина опори в поперечному напрямку (ширина області, що задається навколо опори).

Силу опору відриву множини часток в модельній формі рівнянь визначають за співвідношенням:

$$\bar{F}_{ch} = \frac{k_{cp} C_{ch} \cdot \bar{S} g}{C_{\phi 1} D}, \quad (5)$$

де  $k_{cp}$  — межа втомленості розриву зв'язних ґрунтів, за експериментами [8];

$C_{ch}$  — зчеплення ґрунту у стані повного водонасичення, кг/м<sup>2</sup>;

$\bar{S}$  — розподіл зважених наносів по вертикалі або мутність потоку, формула для визначення наведена далі;

$C_{\phi 1}$  — перший коефіцієнт форми частки наносів, дорівнює відношенню об'єму частки до діаметра рівновеликого шару у третьому ступені;

$D$  — діаметр частинок наносів, м.

Силу опору рослинності, згідно з [9], визначають за аналогічним підходом як і сила опору при обтіканні мостових опор, за залежністю:

$$\bar{f}_{Pi} = \frac{C_x s_p}{2\bar{V}} \left( \bar{V}^2 \bar{V}_i + \bar{V}_j \bar{V}_j' \bar{V}_i' \right), \quad (6)$$

де  $C_x$  — коефіцієнт опору, який визначають за експериментальними дослідженнями, для випадку опору рослинності;

$s_p$  — загальна міделева площа, яка розподілена в об'ємі шару.

Для отримання двовимірних рівнянь переносу необхідно проінтегрувати проєкції загальних тривимірних рівнянь гідродинаміки (1–2) по вертикалі від відмітки дна  $z_o$  до вільної поверхні  $H$ , тобто по глибині потоку  $h = H - z_o$ .

Для зручності позначимо середні за глибиною значення будь-яких змінних функцій — характеристики потоку  $\Phi(x_1, x_2, x_3, t)$ , ламаними дужками, як у роботах [6, 10],

$$\langle \Phi \rangle = \frac{1}{h} \int_{z_0}^H \Phi dx_3. \quad (7)$$

При інтегруванні за глибиною доданків, які містять похідні по горизонтальним координатам та за часом використаємо властивості інтегралів, які залежать від параметрів [6, 11].

Приймемо для коефіцієнта, який враховує опір впливу при обтіканні мостових опор:

$$N_{pier} = \frac{C_{pier} S_{pier}}{2}, \quad (8)$$

і коефіцієнтів, які враховують опір при обтіканні рослинності та часток ґрунту:

$$N_p = \frac{C_x S_p}{2}, \quad N_{ch} = \frac{k_{cp} C_{ch} \cdot g}{C_{\phi 1} D \rho_{LS}}. \quad (9)$$

Відповідно розподіл гідродинамічного тиску  $\bar{p}$  в заплавному потоці визначатиметься за залежністю:

$$\begin{aligned} \bar{p} = \bar{p}_H + \overline{\rho_{LS} g} (H - x_3) - \overline{\rho_{LS} V_3^2} + \overline{\rho_{LS}} \int_{x_3}^H \overline{f_{p3}} dx_3 + \overline{\rho_{LS}} \int_{x_3}^H \overline{f_{pier3}} dx_3 + \overline{\rho_{LS}} \int_{x_3}^H \overline{f_{ch}} dx_3 = \bar{p}_H + \overline{\rho_{LS} g} (H - x_3) - \\ - \overline{\rho_{LS} V_3^2} + \overline{\rho_{LS}} \frac{C_x S_p}{2} \int_{x_3}^H \frac{\overline{V_1 V_1'}}{\overline{V}} dx_3 + \frac{k_{cp} C_{ch} \cdot g}{C_{\phi 1} D} \int_{x_3}^H \overline{S} dx_3 + \overline{\rho_{LS}} \frac{C_{pier} S_{pier}}{2} \int_{x_3}^H \frac{\overline{V_1 V_1'}}{\overline{V}} dx_3, \end{aligned} \quad (10)$$

де  $\bar{p}_H$  — тиск на поверхні потоку.

Інтегруючи проекцію рівнянь (1) на вертикальну вісь, отримаємо закон розподілу осередненого гідростатичного тиску по вертикалі.

У випадку усталеного руху, з урахуванням положень теорії мілкої води при  $h \ll L$ , знехтуємо складовими, які мають порядок похідних величин  $\langle \bar{V}_i' \rangle$  і їх квадратів та виражають турбулентні напруження. На поверхні потоку виконується очевидна умова, що  $\bar{V}_{3H}' = 0$ .

Після інтегрування:

$$\begin{aligned} \bar{p} = \bar{p}_H + \overline{\rho_{LS} g} (H - x_3) - \overline{\rho_{LS} V_3^2} + (C_x S_p + C_{pier} S_{pier}) \frac{\overline{\rho_{LS}} \langle \bar{V}_1 \rangle}{2 \langle \bar{U} \rangle} \langle \bar{V}_1 V_3' \rangle (H - x_3) - \\ - \frac{k_{cp} C_{ch} \cdot \langle \bar{S} \rangle g}{C_{\phi 1} D} (H - x_3). \end{aligned} \quad (11)$$

Розподіл тиску в потоці при спрощенні  $\bar{V} \approx \bar{V}_1$  або  $\frac{\bar{V}_1}{\bar{V}} \approx 1$  запишеться у вигляді:

$$\bar{p} = \bar{p}_H + \overline{\rho_{LS} g} (H - x_3) - \overline{\rho_{LS} V_3^2} - (C_x S_p + C_{pier} S_{pier}) \frac{\overline{\rho_{LS}} \langle \bar{V}_1 V_3' \rangle}{2} (H - x_3) - \frac{k_{cp} C_{ch} \cdot \langle \bar{S} \rangle g}{C_{\phi 1} D} (H - x_3), \quad (12)$$

де  $\langle \bar{S} \rangle$  — осереднена по вертикалі мутність потоку.

Враховуючи вираз (12), модельна форма двовимірних рівнянь матиме такий вигляд:

$$\frac{\partial \bar{V}_1}{\partial t} + \frac{\partial \bar{V}_1^2}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{V}_1 \bar{V}_2}{\partial x_2} + \frac{\partial \bar{V}_1 \bar{V}_3}{\partial x_3} = -\frac{\partial}{\partial x_1} \left( \bar{V}_1^2 - \bar{V}_3^2 \right) - \frac{\partial \bar{V}_1 \bar{V}_2'}{\partial x_2} - \frac{\partial \bar{V}_1 \bar{V}_3'}{\partial x_3} - \frac{C_X s_p + C_{pier} s_{pier}}{2} \left( \bar{V}_1^2 + \bar{V}_1^2 + \frac{\bar{V}_2}{\bar{V}_1} \bar{V}_2 \bar{V}_1' + \frac{\bar{V}_3}{\bar{V}_1} \bar{V}_3 \bar{V}_1' \right) - \left( g + \frac{C_X s_p + C_{pier} s_{pier}}{2} \langle \bar{V}_1 \bar{V}_3' \rangle + \frac{k_{Cp} C_{Ch} \cdot g}{C_{\Phi 1} D \rho_{LS}} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - h \left( \frac{C_X s_p + C_{pier} s_{pier}}{2} \frac{\partial \langle \bar{V}_1 \bar{V}_3' \rangle}{\partial x_1} + \frac{k_{Cp} C_{Ch} \cdot g}{C_{\Phi 1} D \rho_{LS}} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_1} \right). \quad (13)$$

$$\frac{\partial \bar{V}_2}{\partial t} + \frac{\partial \bar{V}_2 \bar{V}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{V}_2^2}{\partial x_2} + \frac{\partial \bar{V}_2 \bar{V}_3}{\partial x_3} = -\frac{\partial \bar{V}_2 \bar{V}_1'}{\partial x_1} - \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \bar{V}_2^2 - \bar{V}_3^2 \right) - \frac{\partial \bar{V}_2 \bar{V}_3'}{\partial x_3} - \frac{C_X s_p + C_{pier} s_{pier}}{2} \left( \bar{V}_1 \bar{V}_2 + \bar{V}_1 \bar{V}_2' + \frac{\bar{V}_2}{\bar{V}_1} \bar{V}_2^2 + \frac{\bar{V}_3}{\bar{V}_1} \bar{V}_3 \bar{V}_2' \right) - \left( g + \frac{C_X s_p + C_{pier} s_{pier}}{2} \langle \bar{V}_1 \bar{V}_3' \rangle + \frac{k_{Cp} C_{Ch} \cdot g}{C_{\Phi 1} D \rho_{LS}} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} - h \left( \frac{C_X s_p + C_{pier} s_{pier}}{2} \frac{\partial \langle \bar{V}_1 \bar{V}_3' \rangle}{\partial x_2} + \frac{k_{Cp} C_{Ch} \cdot g}{C_{\Phi 1} D \rho_{LS}} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_2} \right). \quad (14)$$

Помножимо рівняння (13) і (14) на  $dx_3$  і проінтегруємо за глибиною, та оцінимо порядок доданків, користуючись способом та оцінкою наведеними в роботі [10].

Для отримання модельної форми рівнянь представимо локальну швидкість  $V_i$  у вигляді:

$$\bar{V}_i = U_i + u_i,$$

де  $u_i = \bar{V}_i - U_i \neq 0$  — відхилення локальної швидкості  $\bar{V}_i$  від осередненої за глибиною  $U_i$ .

Величина  $u_i$  повинна тотожно відповідати умові:

$$\langle u_i \rangle = \frac{1}{h} \int_{z_0}^H u_i dx_3 = 0.$$

Згідно з [10], коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу швидкостей на вертикалі, приймає значення  $\alpha > 1$  та дорівнює:

$$\alpha_h = 1 + \frac{\int_{z_0}^H u_i^2 dx_3}{U_i^2 h}.$$

Рівняння кількості руху (у напрямку на вісь  $X_1$ ) можна представити у вигляді:

$$\frac{\partial U_1}{\partial t} + \alpha_h \left[ \frac{\partial U_1^2}{\partial x_1} + \frac{\partial U_1 U_2}{\partial x_2} \right] = - \left( g + (N_p + N_{pier}) \langle \bar{V}_1 \bar{V}_3' \rangle - N_{Ch} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - h \left( (N_p + N_{pier}) \frac{\partial \langle \bar{V}_1 \bar{V}_3' \rangle}{\partial x_1} + N_{Ch} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_1} \right) - \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \langle \bar{V}_1^2 \rangle - \langle \bar{V}_3^2 \rangle \right) - \frac{\partial \langle \bar{V}_1 \bar{V}_2' \rangle}{\partial x_2} - \frac{1}{h} \left[ \left( \bar{V}_1 \bar{V}_3' \right)_H - \left( \bar{V}_1 \bar{V}_3' \right)_{z_0} \right] - (N_p + N_{pier}) \left[ \alpha_h U_1^2 + \langle \bar{V}_1^2 \rangle + \frac{U_2}{U_1} \langle \bar{V}_2 \bar{V}_1' \rangle \right]. \quad (15)$$

Рівняння кількості руху (у напрямку на вісь  $X_2$ ):

$$\frac{\partial U_2}{\partial t} + \alpha_h \left[ \frac{\partial U_1 U_2}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2^2}{\partial x_2} \right] = - \left( g + (N_P + N_{pier}) \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle + N_{Ch} \langle \overline{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} - h \left( (N_P + N_{pier}) \frac{\partial \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle}{\partial x_2} + N_{Ch} \frac{\partial \langle \overline{S} \rangle}{\partial x_2} \right) - \frac{\partial \langle \overline{V_2 V_1'} \rangle}{\partial x_1} - \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \langle \overline{V_2'^2} \rangle - \langle \overline{V_3'^2} \rangle \right) - \frac{1}{h} \left[ (\overline{V_2 V_3'})_H - (\overline{V_2 V_3'})_{z_0} \right] - (N_P + N_{pier}) \left[ \alpha_h U_1 U_2 + \langle \overline{V_1 V_2'} \rangle + \frac{U_2}{U_1} \langle \overline{V_2'^2} \rangle \right]. \quad (16)$$

При  $U_1 = U$ ,  $U_2 \approx 0$  та використати умову стаціонарності  $\frac{\partial}{\partial t} = 0$  рівняння (15) та (16) приймуть такий вид:

$$\alpha_h \frac{\partial U^2}{\partial x_1} = - \left( g + (N_P + N_{pier}) \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle - N_{Ch} \langle \overline{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - h \left( (N_P + N_{pier}) \frac{\partial \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle}{\partial x_1} + N_{Ch} \frac{\partial \langle \overline{S} \rangle}{\partial x_1} \right) - \frac{\partial \langle \overline{V_1 V_2'} \rangle}{\partial x_2} - \frac{1}{h} \left[ (\overline{V_1 V_3'})_H - (\overline{V_1 V_3'})_{z_0} \right] - (N_P + N_{pier}) \left[ \alpha_h U^2 + \langle \overline{V_1'^2} \rangle \right]. \quad (17)$$

$$0 = - \left( g + (N_P + N_{pier}) \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle + N_{Ch} \langle \overline{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} - h \left( (N_P + N_{pier}) \frac{\partial \langle \overline{V_1 V_3'} \rangle}{\partial x_2} + N_{Ch} \frac{\partial \langle \overline{S} \rangle}{\partial x_2} \right) - \frac{\partial \langle \overline{V_2 V_1'} \rangle}{\partial x_1} - \frac{1}{h} \left[ (\overline{V_2 V_3'})_H - (\overline{V_2 V_3'})_{z_0} \right] - (N_P + N_{pier}) \langle \overline{V_1'^2} \rangle. \quad (18)$$

Враховуючи залежності для турбулентних напружень:

$$-\langle \overline{V_1 V_2'} \rangle = \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2}, \quad -\langle \overline{V_1 V_3'} \rangle = \Lambda \frac{U^2}{h}, \quad -\langle \overline{V_1'^2} \rangle = 2\Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_1}. \quad (19)$$

А також для дотичних напружень на основі квадратичного закону тертя [1] на дні, з урахуванням  $U_1 = U$ ,  $U_2 \approx 0$  приймається:

$$(\overline{V_1 V_3'})_{z_0} = \frac{C_f U^2}{K_\Phi}, \quad (\overline{V_2 V_3'})_{z_0} = 0, \quad (20)$$

де  $\Lambda$  — коефіцієнт турбулентного обміну [10];  
 $C_f$  — емпіричний коефіцієнт тертя [6];  
 $K_\Phi$  — коефіцієнт, який враховує вплив форми поперечного перетину заплави.

Представимо усталені рівняння (17) і (18) двовимірних течій на заплавах з трав'яною рослинністю:

$$\alpha_h \frac{\partial U^2}{\partial x_1} = - \left( g + (N_P + N_{pier}) \Lambda \frac{U^2}{h} + N_{Ch} \langle \overline{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - h \left( (N_P + N_{pier}) \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right) + N_{Ch} \frac{\partial \langle \overline{S} \rangle}{\partial x_1} \right) - \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2} \right) - \frac{C_f U^2}{h K_\Phi} - (N_P + N_{pier}) \left[ \alpha_h U^2 + 2\Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_1} \right]. \quad (21)$$



$$0 = - \left( g + (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{U^2}{h} + N_{ch} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} - h \left( (N_p + N_{pier}) \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right) + N_{ch} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_2} \right) - \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2} \right) - (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2}. \quad (22)$$

Після перетворень рівняння переносу заплавного потоку з трав'яною рослинністю (21) та (22) для прогнозування розподілу глибин і швидкостей матимуть наступний вигляд:

$$\left[ \alpha_h + (N_p + N_{pier}) 2\Lambda \right] 2U \frac{\partial U}{\partial x_1} = - \left( g + (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{U^2}{h} + N_{ch} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_1} - h \left( (N_p + N_{pier}) \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right) + N_{ch} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_1} \right) - \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2} \right) - \left[ \frac{C_f}{h K_\Phi} + (N_p + N_{pier}) \alpha_h \right] U^2. \quad (23)$$

$$\left( g + (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{U^2}{h} + N_{ch} \langle \bar{S} \rangle \right) \frac{\partial h}{\partial x_2} = - h \left( (N_p + N_{pier}) \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right) + N_{ch} \frac{\partial \langle \bar{S} \rangle}{\partial x_2} \right) - \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2} \right) - (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{\partial U^2}{\partial x_2}. \quad (24)$$

На основі дискретних аналогів рівнянь із урахуванням сили опору при обтіканні мостових опор (23) — (24) отримаємо рівняння розподілу швидкості:

$$U_{pier\ i+1,j} = U_{i,j} - \frac{\Delta x_1}{\left[ \alpha_h + (N_p + N_{pier}) 2\Lambda \right] 2U_{i,j}} \left[ \left( g + (N_p + N_{pier}) \Lambda \frac{(U^2)_{i,j}}{h_{i,j}} + N_{ch} \langle \bar{S} \rangle_{i,j} \right) \frac{h_{i+1,j} - h_{i,j}}{\Delta x_1} + h_{i,j} \left[ \frac{N_p + N_{pier}}{\Delta x_1} \left[ \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right)_{i+1,j} - \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right)_{i,j} \right] + N_{ch} \frac{\langle \bar{S} \rangle_{i+1,j} - \langle \bar{S} \rangle_{i,j}}{\Delta x_1} \right] + \frac{1}{\Delta x_2^2} \left[ \Lambda_{i,j} (U^2)_{i,j+1} - \left( \Lambda_{i,j} + \Lambda_{i,j-1} \right) (U^2)_{i,j} + \Lambda_{i,j-1} (U^2)_{i,j-1} \right] + \left[ \frac{C_f}{h_{i,j} K_\Phi} + \alpha_h (N_p + N_{pier}) \right] (U^2)_{i,j} \right], \quad (25)$$

та рівняння розподілу глибини:

$$h_{i,j+1} = h_{i,j} - \frac{\Delta x_2}{g + (N_p + N_{pier}) \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right)_{i,j} + N_{ch} \langle \bar{S} \rangle_{i,j}} \left[ h_{i,j} \left( \frac{(N_p + N_{pier})}{\Delta x_2} \left[ \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right)_{i,j+1} - \left( \Lambda \frac{U^2}{h} \right)_{i,j} \right] + N_{ch} \frac{\langle \bar{S} \rangle_{i,j+1} - \langle \bar{S} \rangle_{i,j}}{\Delta x_2} \right) - \frac{1}{2\Delta x_1 \Delta x_2} \left[ \Lambda_{i+1,j} \left( (U^2)_{i+1,j+1} - (U^2)_{i+1,j-1} \right) - \Lambda_{i,j} \left( (U^2)_{i,j+1} - (U^2)_{i,j-1} \right) \right] - (N_p + N_{pier}) \Lambda_{i,j} \frac{(U^2)_{i,j+1} - (U^2)_{i,j}}{\Delta x_2} \right]. \quad (26)$$

Для отримання однозначного розв'язку в роботі [5] наведені сформульовані початкові та



межові умови на заплавних зонах річкового потоку. Основою для початкових межових умов є запропонований в роботі [11] підхід, що дозволяє в двовимірній постановці визначити параметри зони впливу мостового переходу. Метод визначення довжини зони впливу мостового переходу передбачає розрахунок таких параметрів, як питома витрата заплав, довжина впливу мостового переходу, довжина зон стиснення та розтікання. Ґрунтуючись на зміні властивостей центральної струмини визначається глибина та уклон вільної поверхні річкового потоку.

У числовій області задаються координати місцеположення мостових опор  $x_1, x_2$ , де всі величини приймаються  $\Phi_{i,j} = 0$ , відповідно задаються поперечні створи, в яких обчислення гідродинамічних характеристик проводитиметься за рівняннями переносу (25)—(26) з урахуванням сили опори при обтіканні мостових опор  $X_i$  ( $i = n$ ). По всім іншим створам обчислюють гідродинамічні параметри в межах розрахункової області заплавних ділянок згідно методу, наведеному в роботі [5]. Цей метод передбачає визначення таких основних параметрів: витрата заплавних потоків у зоні стиснення та розтікання, а також гідродинамічні показники, складові рівнянь (25)—(26).

У зазначених поперечних створах за формулою (4) визначають міделеву площу мостової опори, яка обтікається потоком та розраховують коефіцієнт, який враховує опір впливу мостових опор на заплавний потік за (8). Далі проводиться перевірка умови нерозривності за рівнянням:

$$(U \cdot h)_{i,j} = \frac{(U \cdot h)_{i+1,j}}{\Delta x_1}. \quad (27)$$

Перерахунок поздовжнього похилу водної поверхні заплави, згідно зі співвідношенням:

$$I_{x_1} = \frac{h_{i+1,j} - h_{i,j}}{\Delta x_1}. \quad (28)$$

Більш детально перевірку умов нерозривності наведено у роботі [5]. На основі скінченно-різницевого методу визначають поздовжню швидкість в усталеному заплавному потоці та розподіл глибини в поперечних перетинах на заплаві потоку до виконання умови нерозривності. Матриця відміток поверхні рельєфу дна заплав по розрахунковим створам  $Z_{f-p}$  і матриця глибин заплавного потоку  $h_{f-p}$  оновлюються після кожної сходинки паводка.

Для проведення розрахунку на ділянці річки в зоні впливу мостового переходу проводиться збір вихідних даних. У табл. 1 і табл. 2 наведені вихідні дані для р. Сіверський Донець на автомобільній дорозі Т-05-14 в межах Донецької області.

**Таблиця 1**

**Вихідні дані розрахунку максимального розмиву**

Ч. ч.	Назва параметра	Позначка	Вимірник	Примітки (у якому вигляді задається)
1	Поздовжній похил дна	$J$	—	0,000 18
2	Відмітки поверхні рельєфу дна заплав на розрахунковій області	$Z_{f-p}$	м	числова матриця
3	Ширина отвору мостового переходу	$B_{br}$	м	267
4	Зчеплення ґрунту у стані повного водонасичення	$C_{Ch}$	кг/м <sup>2</sup>	0,19
5	Коефіцієнт для визначення сили зчеплення	$k_{Ch}$	—	0,035

Кінець таблиці 1

Ч. ч.	Назва параметра	Позначка	Вимірник	Примітки (у якому вигляді задається)
6	Коефіцієнт опору рослинності	$C_x$	—	0,4
7	Висота рослинності	$h_{\text{росл.}}$	м	1,5
8	Кут підходу потоку до мостової споруди	$\alpha_{\text{pier}}$	град.	26°
9	Коефіцієнт форми мостової опори	$K_f$		визначається за [8]
10	Коефіцієнт опору при обтіканні опори	$C_{\text{pier}}$		1,2
11	Ширина опори в поперечному напрямку	$B_{\text{pier}}$	м	задається навколо опори, як параметр розрахункової області впливу опори
12	Ширина опори в поздовжньому напрямку	$L_{\text{pier}}$	м	задається навколо опори, як параметр розрахункової області впливу опори
13	Висота опори, яка обтікається потоком	$\Delta x_{\text{pier}}$	м	$\Delta x_{\text{pier}} \approx h_{ij}$
14	Довжина опори	$l_{\text{pier}}$	м	при косому набіганні потоку $l_{\text{pier}} = l_{0\text{pier}} \cos \alpha_{\text{pier}}$
15	Ширина опори	$b_{\text{pier}}$	м	при нормальному набіганні потоку $b_{\text{pier}} = b_{0\text{pier}}$ ; при косому набіганні потоку $b_{\text{pier}} = l_{0\text{pier}} \sin \alpha_{\text{pier}} + b_{0\text{pier}} \cos \alpha_{\text{pier}}$

Таблиця 2

Вихідні параметри розрахункової області

Доба	1,2	4	8,4	13,6	18,8	24,6
Загальна витрата річки $Q_{\text{riv}}, \text{м}^3$	448	506	864	1 193	1 658	1 992
Руслова витрата $Q_r, \text{м}^3$	207,65	215,00	293,32	368,08	465,03	534,73
Рівень поверхні річки, $H, \text{м}$	147,24	147,5	147,98	148,27	148,62	148,83
Глибина русла, $h_r, \text{м}$	3,54	3,80	4,28	4,57	4,92	5,13
Глибина заплави $h_{f-p}, \text{м}$	0,60	0,86	1,34	1,63	1,98	2,19

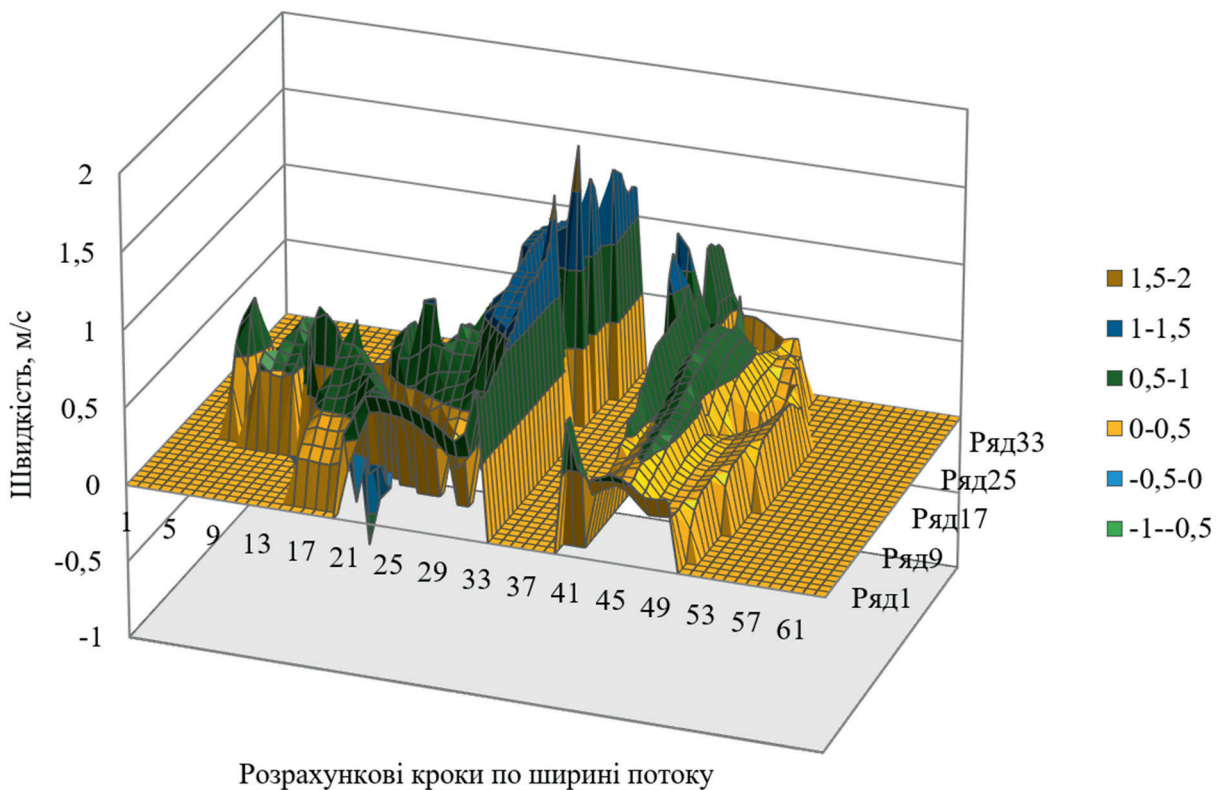
За розподілом у першому наближенні глибин та зміною похилу вільної поверхні за методом [11] для р. Сіверський Донець розраховані початкові умови (табл. 3), що дають можливість отримати параметри зони впливу мостового переходу.

Таблиця 3

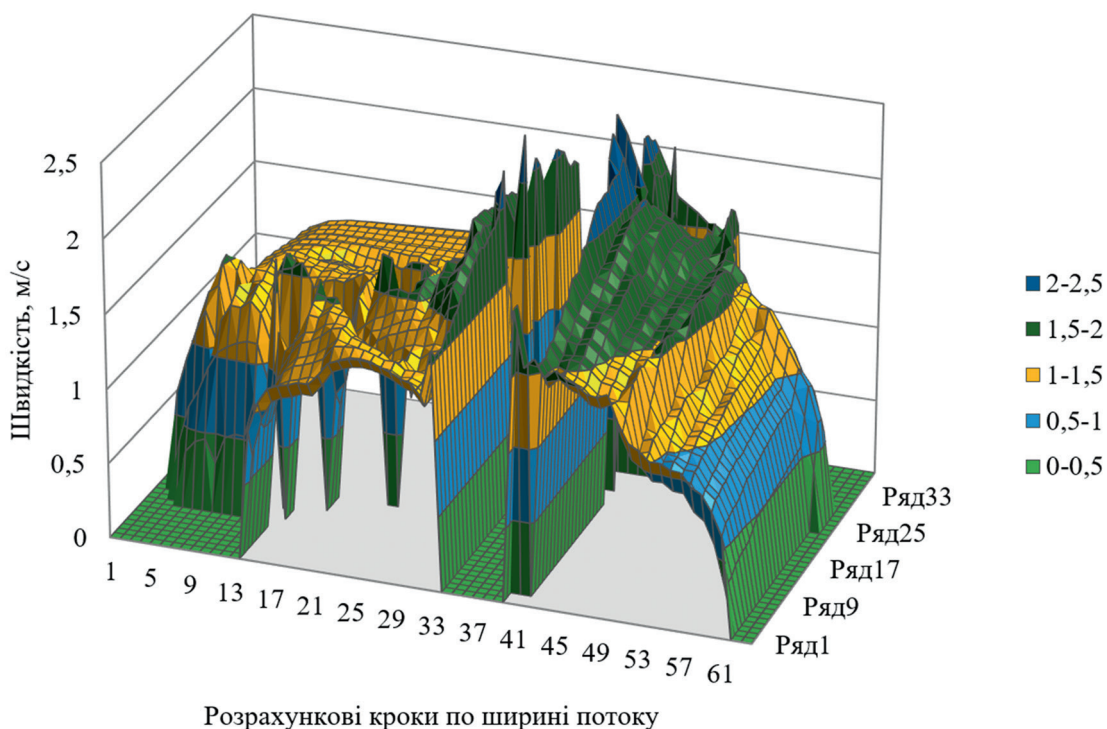
Параметри зони впливу мостового переходу

Показники	Доба					
	1,2	4	8,4	13,6	18,8	24,6
Природна питома витрата заплав $q_{f-p}$ , м	0,589	0,713	1,398	2,021	2,923	3,57
Довжина впливу мосто-вого переходу $l_{z-br}$ , м	1 194,8	1 349,2	1 673,6	1 842,2	2 035,0	2 144,3
Довжина зони стиснення $l_{z-c}$ , м	245,7	239,5	464,4	713,7	1 090,3	1 382,0
Довжина зони розтікання $l_{z-s}$ , м	949,1	1 109,8	1 209,3	1 128,6	944,7	762,3

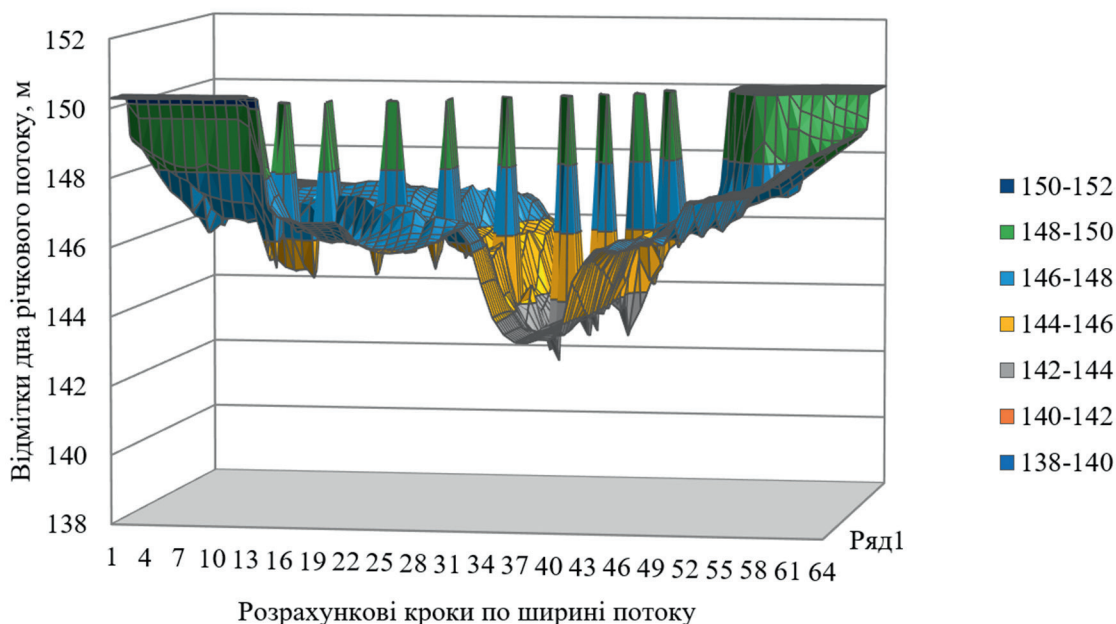
За запропонованим методом та з урахуванням межових умов [5] були визначені гідродинамічні показники заплавних ділянок р. Сіверський Донець, в тому числі поздовжня швидкість  $U_{ij}$  з урахуванням сили опору від обтікання мостових опор (рис. 1 та рис. 2) та відмітки донної області після проходження паводку (табл. 2) за розрахунковими сходишками (рис. 3 та рис. 4).



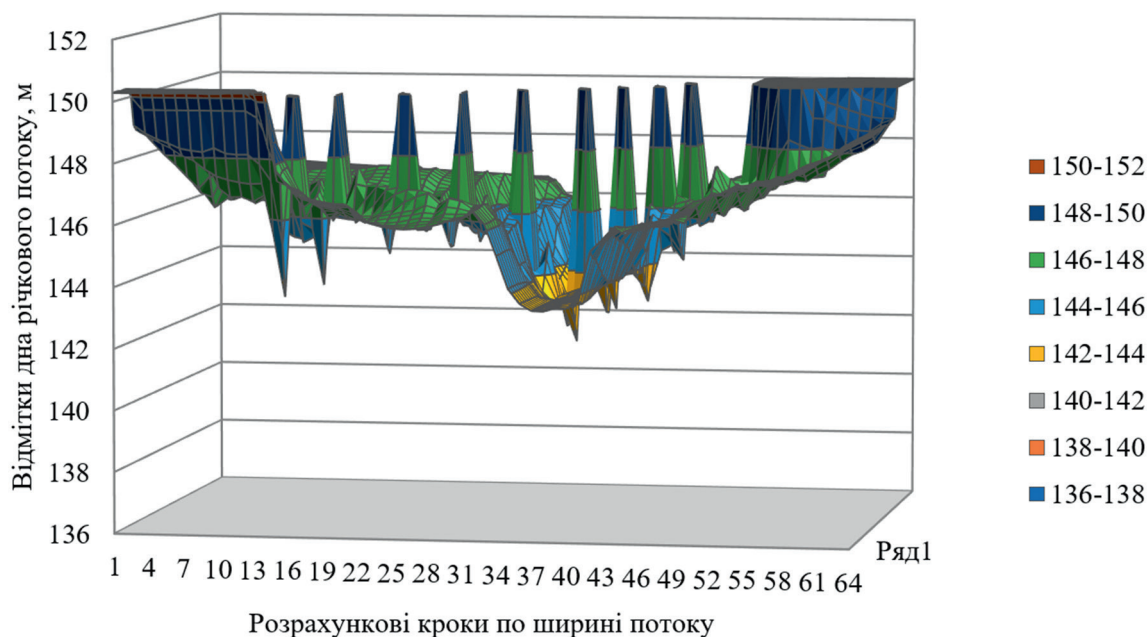
**Рисунок 1** — Розрахунок поздовжньої швидкості  $U_{ij}$  на заплавах з урахуванням сили опору від мостових опор після 1-ої сходишки розрахункового паводку



**Рисунок 2** — Розрахунок поздовжньої швидкості  $U_{ij}$  на заплавах з урахуванням сили опору від мостових опор після 6-ї сходинки розрахункового паводку



**Рисунок 3** — Відмітки поверхні рельєфу дна заплав з урахуванням опору від впливу мостових опор після 1-ї сходинки розрахункового паводку



**Рисунок 4** — Відмітки поверхні рельєфу дна заплав з урахуванням опору від впливу мостових опор після 6-ої сходинки розрахункового паводку

Запредставленими результатами числового експерименту отримані параметри максимальних розмивів на заплавних ділянках, що дозволить визначити глибину закладання мостових опор. Максимальна поздовжня швидкість  $U_{ij}$  після 6 сходинки повені (на початку її спаду) змінюється в межах від 2,45 м/с до 2,32 м/с, відповідно на меншій та більшій заплавах. Різниця відміток дна заплав після 6 сходинки та перед початком 1-ї змінюється від 0,19 м до 1,91 м на меншій заплаві та від 0,035 м до 2,75 м — на більшій заплаві. При обтіканні потоком мостової опори особливо на заплавних ділянках з намулками та з рослинністю створюються специфічні умови переносу гідродинамічних характеристик потоку. Запропонована двовимірна математична модель заплавного потоку для прогнозування розподілу максимальних глибин та швидкостей на заплаві дозволяє враховувати ці умови. Згідно з розрахунками проведеними у попередній роботі [5] розмив більшої заплави становить  $h_p = 0,96$  м, меншої заплави —  $h_p = 1,28$  м. Величина максимального розмиву, з урахуванням впливу опору мостових опор, на більшій заплаві складає  $h_p = 2,75$  м, на меншій заплаві —  $h_p = 1,91$  м. На меншій заплаві розмив перевищує попередні результати у 1,5 рази, на більшій заплаві — у 2,8 раз, що обумовлено врахуванням як і впливу опору при обтіканні мостових опор, так і ефекту стиснення між опорами та насипами підходів в створі мостового переходу.

## Висновки

1. У створі мостового переходу на заплавних ділянках додатково на опір при обтіканні потоком рослинності накладається опір при обтіканні мостових опор, що, у свою чергу впливає, на швидкісну структуру потоку та на розмивні процеси.
2. Запропонована двовимірна математична модель дозволяє визначити розподіл середніх швидкостей та глибин з дотриманням узгодженості з полем тиску та з урахуванням особливостей досліджуваної області з опорами на заплавних ділянках у створі мостового переходу. Реалізація двовимірної математичної моделі заплавного потоку з урахуванням опору при обтіканні мостових



опор дозволить встановити величину максимального розмиву, що є відправним показником при призначенні глибини закладання основ опор мосту.

3. За результатами числового розрахунку на ділянці р. Сіверський Донець визначено, що в створі мостового переходу на меншій заплаві максимальне значення поздовжньої швидкості перевищує відповідний показник на більшій заплаві на 5 %, що пояснюється її меншою пропускною здатністю. Перевищення величини максимального розмиву на більшій заплаві порівняно з розмивом на меншій на 30 % обумовлено врахуванням впливу опору при обтіканні мостових опор та ступенем стиснення потоку між ними.

## Список літератури

1. Kouchakzadeh S; Townsend R. D. Maximum scour depth at bridge abutments terminating in the floodplain zone. *Canadian Journal of Civil Engineering; Ottawa*. 1997. Vol. 24, Iss. 6, P. 996-1006. URL: <https://search.proquest.com/openview/646836c370590887cdcef54739666592/1?pq-origsite=gscholar&cbl=47617> (дата звернення: 17.08.2020).
2. Reinaldo Morales, Robert Ettema, M. ASCE Insights from Depth-Averaged Numerical Simulation of Flow at Bridge Abutments in Compound Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2013. Volume 139 Issue 5. URL: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000693](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000693) (дата звернення: 17.08.2020).
3. Cardoso A.H., Bettess R. Effects of Time and Channel Geometry on Scour at Bridge Abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1999. Volume 125 Issue 4. [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:4\(388\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:4(388)) (дата звернення: 17.08.2020).
4. МР 218-02070915-231-3-2003 Методика розрахунку розмивів дна та берегів перед гірських ділянок річок та місцевих розмивів біля річкових гідротехнічних споруд. Київ, 2003. 45 с. (Інформація та документація).
5. Славінська О. С., Цинка А. О. Удосконалений метод розрахунку деформацій на заплавах в зоні впливу мостового переходу. *Web of Scholar*. 2020. Vol. 5 (47), 12-22. DOI: doi.org/10.31435/rsglobal\_wos/31052020/7089 (дата звернення: 17.08.2020).
6. Славінська О.С. Метод прогнозування загальних і місцевих деформацій підмостових русел з урахуванням процесів у придонній області. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2011. Вип. 81. С. 155-161.
7. Журавлев М.М. Местный размыв у опор моста. Москва, 1984. 111 с.
8. Мирцхулава Ц. Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. Москва, 1967. 179 с.
9. Гаев Е.А., Никитин И.К. Гидродинамика потока при наличии легко проницаемой шероховатости. Ламинарный режим. *Гидромеханика*. 1982. Вып. 45. С. 65-73.
10. Савенко В.Я. Математические модели и методы расчета квазитрехмерных безнапорных потоков. Киев, 1995. 184 с.
11. Ткачук С.Г. Прогнозування руслових деформацій на мостових переходах. Частини 3 і 4 : навч. посіб. Київ, 2004. 98 с.

## References

1. Kouchakzadeh S; Townsend R. D. Maximum scour depth at bridge abutments terminating in the floodplain zone. *Canadian Journal of Civil Engineering; Ottawa*. 1997. Vol. 24, Iss. 6, P. 996-1006. URL: <https://search.proquest.com/openview/646836c370590887cdcef54739666592/1?pq-origsite=gscholar&cbl=47617> (Last accessed: 17.08.2020) [in English].
2. Reinaldo Morales, Robert Ettema, M. ASCE Insights from Depth-Averaged Numerical

Simulation of Flow at Bridge Abutments in Compound Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2013. Volume 139 Issue 5. URL: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000693](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000693) (Last accessed: 17.08.2020) [in English].

3. Cardoso A.H., Bettess R. Effects of Time and Channel Geometry on Scour at Bridge Abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1999. Volume 125 Issue 4. URL: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:4\(388\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:4(388)) (Last accessed: 17.08.2020) [in English].

4. MR 218-02070915-231-3-2003 Metodyka rozrakhunku rozmyviv dna ta berehiv pered hirs'kykh dilyanak richok ta mistsevykh rozmyviv bilya richkovykh hidrotekhnichnykh sporud (Method of calculating erosion of the bottom and banks in front of mountain sections of rivers and local erosion near river hydraulic structures). Kyiv, 2003. 45 p. [in Ukrainian].

5. Slavinska O. S., Tsynka A. O. Udoshkonalennyy metod rozrakhunku deformatsiy na zaplavakh v zoni vplyvu mostovoho perekhodu (Advanced Method of Calculation of Deformations on Floats in the Zone of Influence of the Bridge Crossing). *Web of Scholar*. 2020. Vol. 5 (47). 12-22. DOI: [doi.org/10.31435/rsglobal\\_wos/31052020/7089](https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7089) (Last accessed: 17.08.2020) [in Ukrainian].

6. Slavinska O. S. Metod prohnozuvannya zahal'nykh i mistsevykh deformatsiy pidmostovykh rusel z urakhuvannyam protsesiv u prydonnoyi oblasti (Method for forecasting general and local deformations of sub-bridge channels taking into account processes in the bottom region). *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Kyiv, 2011. Iss. 81. P. 155-161 [in Ukrainian].

7. Zhuravlev M.M. Mestnyy razmyv u opor mosta (Local erosion at the bridge pillars). Moscow, 1984. 111 p. [in Russian].

8. Mirtskhulava T.S. Ye. Razmyv rusel i metodika otsenki ikh ustoychivosti (Erosion of channels and methods for assessing their stability). Moscow, 1967. 179 p. [in Russian].

9. Gayev Ye.A., Nikitin I.K. Gidrodinamika potoka pri nalichii legkopronitsayemoy sherokhovatosti. Laminarnyy rezhim (Flow hydrodynamics in the presence of easily permeable roughness. Laminar mode). *Gidromekhanika*. 1982. V. 45. P. 65-73. [in Russian].

10. Savenko V.Ya. Matematicheskiye modeli i metody rascheta kvazitrekhnernykh beznapornykh potokov (Mathematical models and methods for calculating quasi-three-dimensional gravity flows). Kyiv, 1995. 184 p. [in Russian].

11. Tkachuk S.H. Prohnozuvannya ruslovykh deformatsiy na mostovykh perekhodakh. Chastyny 3 i 4 (Prediction of channel deformations at bridge crossings. Parts 3 and 4) : manual. Kyiv, 2004. 98 p. [in Ukrainian].

---

Olena Slavinska<sup>1</sup>, D.Sc., Prof., <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>

Anatolii Tsynka<sup>2</sup>, <http://orcid.org/0000-0002-0357-2325>

<sup>1</sup> National Transport University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

## **PREDICTING DEFORMATIONS ON THE FLOODPLAIN WITH CONSIDERING RESISTANCE AT FLOWING OF THE BRIDGE SUPPORTS**

### **Abstract**

**Introduction.** Eroded processes on the plains are substantially different from riverbed deformations, due not only to their geological structure but also to the presence of vegetation. A large number of experimental and numerical studies on the distribution of the high-speed structure and depth have been carried out in order to predict the blurred processes on the flood plains in the area affected by bridge crossings. The question remains as to how many features of flood plains in the area of the bridge opening should be taken into account.



Problems. In the design of bridge crossings, the most interesting value is the maximum deformation that can occur while the operation of a bridge during a design flood or flood. Accordingly, in calculating the deformations not only in the bed but also in the floodplain in the area of the opening of the bridge, it is important to establish the maximum depths, which reasonably determine the required depth of laying the foundations of the bridge supports.

The aim of the work. Forecasting of maximum swells in flood plains, taking into account the force of resistance at the fairing of bridge supports.

Materials and methods. This paper is based on the theory of mechanics of a continuous environment, heterogeneous flows and the theory of shallow water, mathematical modeling methods, numerical modeling methods.

The calculation in the zone of influence of bridge supports is carried out according to the equation of the transfer of the speed of floodplain flow with grass vegetation, taking into account the force of the resistance during the flow of bridge supports. The numerical implementation of the proposed mathematical models on iterative methods for calculating the hydrodynamic characteristics of floodplains with vegetation has necessitated the formulation of initial and boundary conditions to take into account the characteristic features of flood fluxes in the zone impact of bridge crossings.

Results. A two-dimensional mathematical model has been developed that makes it possible to take into account the features of the flood plains concerning the distribution of vegetation, the winding and the resistance when the bridge supports are rounded.

According to the proposed method, the hydrodynamic indicators of the flood plains of Severskiy Donets on the T-05-14 road in the Donetsk region were determined, including the longitudinal velocity, taking into account the resistance force of the fairing of the bridge supports and the marking of the bottom region after the passage of the flood down the design staircase. The maximum longitudinal velocity at the beginning of the dip varies between 2.45 m / s from 2.32 m / s, respectively, on smaller and larger plains. The depth of the bottom erosion varies from 0.19 m to 1.91 m in the lower floodplain and from 0.035 m to 2.75 m in the greater floodplain.

Conclusions. The proposed two-dimensional mathematical model of the floodplain flow makes it possible to determine the distribution of average velocities and depths in accordance with the consistency with the pressure field and taking into account the characteristics of the area under investigation with supports on the floodplain sections in the bridge bridge bridge tail. On the basis of the results of its numerical implementation in the section of r. Severskiy Donets, the value of the maximum dilution has been established, which is the starting point for the determination of the depth of laying the foundations of the bridge supports. The maximum melting depth at the higher floodplain is 2.75 m, and at the lower plain is 1.91 m, which is due to the effect of the drag on the fairing of bridge supports and the compression of the flow between them.

**Keywords:** floodplain, flood stream, bridge, bridge crossing, bridge support, bridge hole, blurring, resistance force.