

Щодро О.Є., канд. техн. наук, Шинкарук Л.А., канд. техн. наук,  
Вечер В.В., канд. техн. наук

**ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЦЕВИХ РУСЛОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ РУСЛА  
р. ВОЛГА БІЛЯ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ  
НА ТРАСІ НИЖНІЙ НОВГОРОД – КАЗАНЬ**

**Анотація.** В роботі розглянуто результати модельних гідравлічних досліджень стійкості руслових макроформ поблизу мостового переходу через річку Волгу. На жорсткій моделі виконано заміри придонних і середніх на вертикалях швидкостей потоку при трьох характерних режимах потоку, які відповідають паводкам певних забезпеченостей. На розмивній моделі оцінено інтенсивність змиву руслової форми, яка відповідає за надійність мостового переходу. Оцінено найімовірніший строк служби всієї споруди виходячи з зазначеної інтенсивності. Виявлено роль транзитних наносів на інтенсивність змиву руслової форми.

**Ключові слова:** мостовий перехід, русловий процес, кар'єри, гідравлічне моделювання, пропускна спроможність моста.

**Аннотация.** В работе рассмотрены результаты модельных гидравлических исследований, устойчивости русловых макроформ вблизи мостового перехода через реку Волгу. На жесткой модели выполнены измерения придонных и средних на вертикалях скоростей потока при трех характерных режимах потока, которые соответствуют паводкам определенной обеспеченности. На размываемой модели оценена интенсивность смыва русловой формы, которая ответственна за надежность мостового перехода. Определен наивероятнейший срок службы всего сооружения исходя из указанной интенсивности. Выявлена роль транзитных наносов на интенсивность смыва русловой формы.

**Ключевые слова:** мостовой переход, русловой процесс, карьеры, гидравлическое моделирование, пропускная способность моста.

**Annotation.** Results of hydraulic modeling of Volga river-bed stability are reported. The district of near Kadzan was examined, and also the stability of the bridge crossing at the Nijniy Novgorod – Kadzan highway. The flow field was investigated for three main river discharges and consequent levels. The intensity of

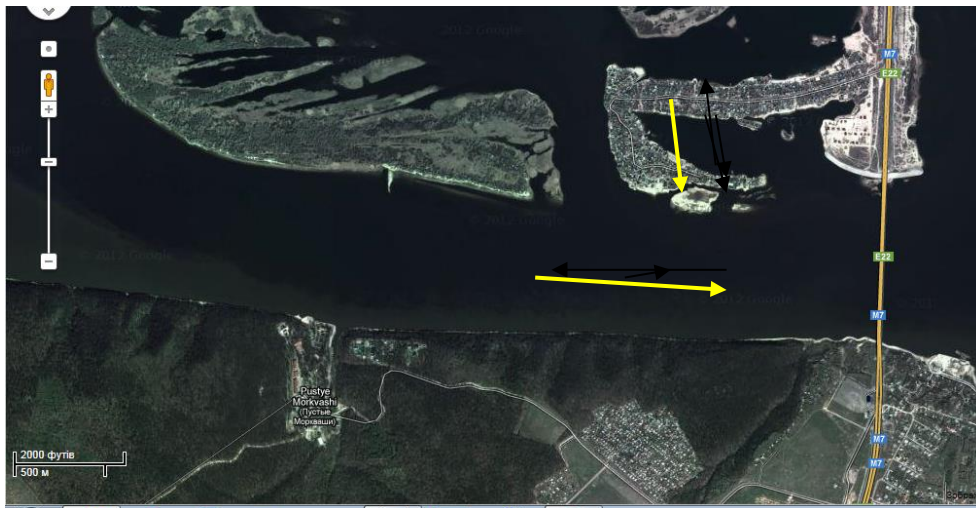
river-bed process was regarded as the process of the Trizub peninsula washing out. This peninsula is the main defence factor of the bridge crossing groyne. The intensity of its deformation was achieved. The transit sediment role also was investigated.

**Keywords:** river-bed process, highway, bridge crossing, hydraulic modeling, local scour, river-bed sediment

**Метою** даної роботи було виявлення інтенсивності змиву дрібнопіщаного ґрунту з руслової форми, яка захищає дамбу мостового переходу від високошвидкісної течії. В **задачі** роботи входило вивчення кінематичних характеристик потоку при характерних рівнях води і витратах, що проходять по річці, оцінка інтенсивності змиву даної руслової форми, а також інтенсивності руслового процесу в цілому. Додатковою задачею досліджень була оцінка наслідків утворення кар'єру на заплаві та його вплив на гідравлічну структуру потоку. **Об'єктом** дослідження можна вважати мостовий перехід на трасі автомобільної магістралі Нижній Новгород – Казань, а **предметом** – русловий процес біля зазначеної споруди.

Дослідження проводили в гідротехнічній лабораторії УПВГ в 1987-1991 рр. В той період було отримано основні результати модельного дослідження стосовно топографії річкового русла, яке було зафіксовано перед початком модельних досліджень. В той період проводили також систематичні спостереження за динамікою дна русла річки Волги та заплави біля мостового переходу. З цією метою проводили ультразвукове зондування дна з катера, який пропливав за спеціально заданими маршрутами в районі дослідження.

На рис.1 представлено фотографію, яка демонструє ситуацію, що може скластися при несприятливому ході руслового процесу. Саме півострів «Тризубець», який з одного боку захищає струмененапряму дамбу моста, з другої сам підлягає активному розмиву як потоком, який проходить в самому руслі Волги, так і потоком, що рухається з заплави через вузьку протоку шириною біля 250-300 м. Але основним фактором, який може спричинити подальшу динаміку острова є та гідравлічна структура, яка формується у зоні злиття потоків. Саме вплив транзитного руслового потоку на боковий втікаючий в нього потік полягає в його притисненні до зазначеного півострова, збільшення локальних швидкостей і розмивної спроможності цього потоку.



**Рисунок 1** – Супутникова фотографія мостового переходу та підхідної ділянки русла. Рух потоку зліва на право; до лівобережної струмененапрямної дамби примикає півострів «Тризубець»

На сьогодні конфігурація основних руслових форм дещо змінилася, про що свідчать, зокрема, фотографії мостового переходу зняті через систему Google maps (рис.1). Порівняння топографічних матеріалів дозволило оцінити реальну інтенсивність змиву півострова «Тризубець», який прикриває собою підходи до струмененапрямної дамби мостового переходу.

Оцінка наслідків проходження повеней та паводків в межах русла і заплави перед мостовим переходом зводилася до оцінки скінченних деформацій поверхні дна. Така оцінка проводилась на основі спостережень деформації касети, яка була влаштована на ділянці можливих небезпечних деформацій. Попередньо, на стадії вивчення кінематики потоку, касети влаштовано не було і на жорсткій поверхні проводилися вимірювання швидкостей потоку за допомогою мікровертушок та однокомпонентних тензометричних датчиків, які дозволяють отримувати значення миттєвих швидкостей з фіксацією пульсацій швидкості з частотами порядку 100-150 Гц.

Найбільшу небезпеку, з точки зору розмиву, представляють певні гідрологічні режими річки Волга:

- проходження розрахункової витрати (для мостового переходу)  $Q = 40000 \text{ м}^3/\text{с}$  (де  $Q$  – витрата водного потоку) при рівні води на заплаві 58,3 м абс.;
- проходження витрати  $Q = 20000 \text{ м}^3/\text{с}$  при високому рівні води на заплаві 53,3 м абс. і при зниженому горизонті до відмітки 51,8 м абс.

(зниження рівня на 1,5 м можливе з точки зору природоохоронних та екологічних міркувань);

– пониження рівня від відмітки 57,3 м абс. зі швидкістю 0,5 м/добу.

Перший з зазначених випадків характеризується найбільш високими швидкостями і уклонами потоку в цілому на заплаві й можливістю розвитку небезпечних течій біля підхідної дамби та в зоні кар'єру за рахунок концентрації витрат.

Другий випадок небезпечний можливістю появи зон місцевих збільшень швидкостей на довжині каналу-протоки, біля півострова «Тризубець» і в інших небезпечних районах заплави в зв'язку з перерозподілом витрат на заплаві, викликаним впливом кар'єрної розробки.

Третій випадок небезпечний можливістю розмивів при збільшенні місцевих уклонів, коли рівні в руслі спадають інтенсивніше, чим на заплаві. Ці характерні режими було відтворено на моделі.

Вибір та обґрунтування масштабу моделі описано нижче. Горизонтальний масштаб моделі  $\alpha_l$  вибирали виходячи з мінімальної довжини ділянки річки Волга в натурі, яку потрібно моделювати ( $L_{\text{нат}} \approx 6$  км), ширина заплави і русла  $B_{\text{нат}} \approx 5$  км і розмірів лабораторної площадки (10,0×15,0 м). Відповідно до цих міркувань було прийнято  $\alpha_l = 500$ .

Вертикальний масштаб моделі  $\alpha_h$  був прийнятий рівним 100.

Опис лабораторної установки наведено нижче. Установка представляла собою руслову площадку розміром 10,0×15,0 м. Витрати установки досягали 100 л/с і подавали на модель через два прийомних баки, обладнаних відтарованими трикутними мірними водозливами та п'єзометрами. Із баків вода поступала в водобійний колодязь, звідки виходила через ефективний гасник, який представляв собою дві дротяні сітки, що були натягнуті на дерев'яний каркас. Простір між сітками повністю заповнено дерев'яною стружкою. В кінці моделі було встановлено клапанний затвор, що дозволяв точно регулювати рівні води на моделі.

Перерахунок даних модельних досліджень в натуру на нерозмивній моделі проводили наступним чином. Моделювання проводили за критерієм Фруда. При цьому умови подібності записуються в наступному вигляді

$$Fr_m = Fr^H,$$

індекси «н» та «м» відповідають натурі та моделі.

Відношення між масштабними коефіцієнтами різних величин приймаються наступним чином:

$$\alpha_\omega = \alpha_l \cdot \alpha_h; \quad \alpha_v = \sqrt{\alpha_h} \quad (1)$$

$$\alpha_Q = \alpha_\omega \cdot \alpha_v = \alpha_l \cdot \alpha_h^{3/2};$$

$$\alpha_j = \alpha_h / \alpha_l = 1/k ;$$

$$\alpha_c = \alpha_v / \alpha_h^{1/2} \cdot \alpha_j^{1/2} = \sqrt{\alpha_l / \alpha_h}$$

$$\alpha_n = \alpha_h^{1/6} / \alpha_c = \sqrt{\alpha_h} / \sqrt[3]{\alpha_l}$$

де  $\alpha_\omega$ ,  $\alpha_v$ ,  $\alpha_Q$ ,  $\alpha_j$ ,  $\alpha_c$ ,  $\alpha_n$  - масштабні коефіцієнти площ, швидкостей, витрат, уклонів, коефіцієнтів Шезі і шорсткості.

$\alpha_l = 500$ ,  $\alpha_h = 100$  - лінійні масштаби.

Перерахунок модельних характеристик в натуру здійснювали шляхом їх множення на відповідний масштабний коефіцієнт.

Витрата донних наносів в натурі була взята за даними натурних досліджень рівною  $q_n^{\text{нат}} = 3,75 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>2</sup>с, а модельне її значення  $q_n^{\text{мол}}$  заміряли по об'єму винесеного піску за час проведення досліду.

Потрібне значення модельної твердої витрати, таким чином, визначали з виразу

$$q_n^{\text{потр.мод}} = q_n^{\text{нат}} \cdot \frac{q^{\text{мод}}}{q^{\text{нат}}} = q_n^{\text{нат}} \cdot \alpha_h^{-3/2},$$

де  $q$  – питомі витрати водного потоку;

$q_n$  - питомі витрати наносів.

Глибини розмиву в натуру можна перерахувати за формулою Б.І.

Студенічкікова

$$h_n = \left(\frac{\rho_{1M}}{\rho_{1H}}\right)^{2/5} \left(\frac{1+3\rho_M^{2/3}}{1+3\rho_H^{2/3}}\right) \left(\frac{d_M}{d_H}\right)^{1/5} \left(\frac{\alpha_H}{\alpha_M}\right)^{1/5} \left(\frac{q_H}{q_M}\right)^{4/5} \cdot h_M, \quad (2)$$

де  $\rho_1$ ,  $\rho$ ,  $d$  – об'ємна маса ґрунту, щільність і діаметр частинок наносів;

$\alpha$  - коефіцієнт кінетичної енергії потоку.

Для умови натурального моделювання при кінематичній подібності епюр швидкостей на вертикалях формула (2) приводиться до вигляду

$$h_p^H \approx \left(\frac{q_H}{q_M}\right)^{4/5} \cdot h_p^M$$

тобто

$$\alpha_{h_p} = \alpha q^{4/5}.$$

З врахуванням формули (1) отримаємо

$$\alpha_{h_p} = (\alpha_h^{3/2})^{4/5} = \alpha_h^{1,2}.$$

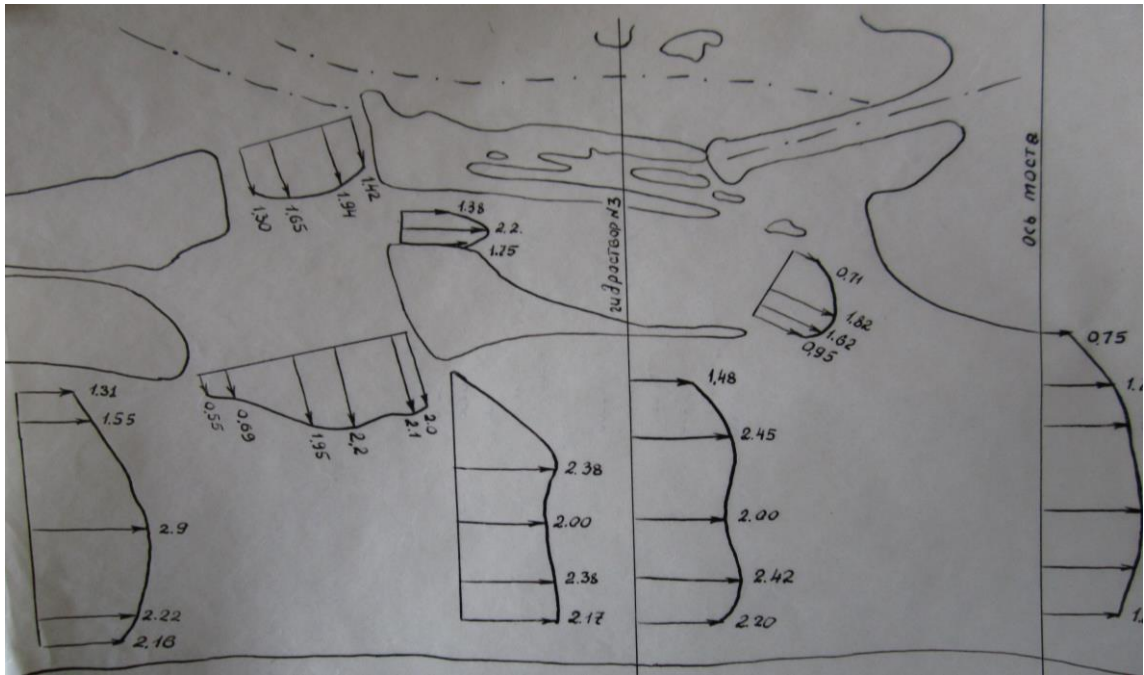
Враховуючи форсування витрат на моделі, отримаємо кінцеву формулу

$$\alpha_{h_p} = \left(\frac{\alpha_q}{k_\phi}\right)^{4/5} = \frac{\alpha_h^{1,2}}{k_\phi^{4/5}}.$$

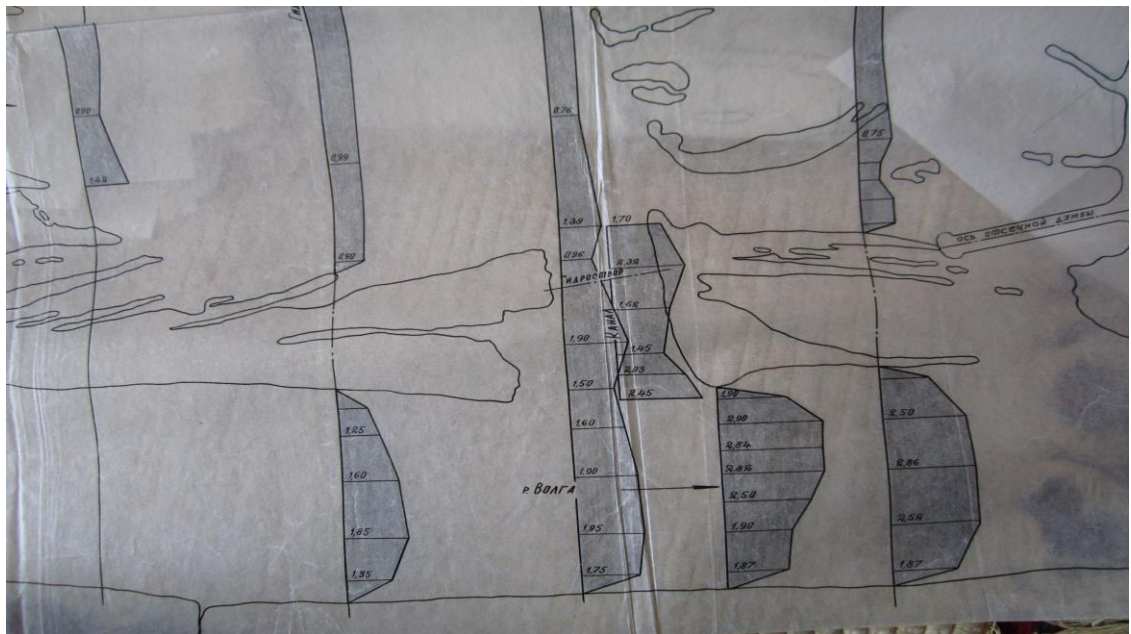
### Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що при проходженні різних характерних витрат по руслу і заплаві Волги найбільші швидкості й розмивна спроможність спостерігалися при витратах 30 і 40 тис. м<sup>3</sup>/с. Але найбільш розмивні зони русла в кожному випадку спостерігалися свої. Так при максимальній витраті найгостріша ситуація може скластися безпосередньо біля струмененапрявної дамби, а при меншій витраті, коли рівні води затоплюють заплавні острови не повністю а лише частково, в найбільшій небезпеці опиняється берег півострова «Тризубець», який омивається течією. Саме у цьому випадку найбільший ефект притиснення бокової струмини має місце, який доповнюється також фактором істотного підвищення рівня турбулентності в зоні злиття потоків.

Заміряна інтенсивність берегової планової ерозії протоки і відповідного «з'їдання» берега півострова мала місце при витраті 30000 м<sup>3</sup>/с, і становила таку величину, яка відповідає натурній інтенсивності 20 метрів берега за 10 років роботи мостового переходу.



**Рисунок 2.** – Значення осереднених швидкостей в зоні злиття потоків при витраті Волги  $Q=30000 \text{ м}^3/\text{с}$



**Рисунок 3.** – Значення осереднених швидкостей в зоні злиття потоків при витраті Волги  $Q=40000 \text{ м}^3/\text{с}$

### Література

1. Леви И.И. Моделирование гидравлических явлений. – М.: Энергия, 1967. – 235 с.
  2. Лятхер В.М., Прудовський А.М. Гидравлическое моделирование. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
  3. Студеничников Б.И. Размывающая способность потоков и методы русловых расчетов. – М.: Изд-во литер. по строительству, 1964. – 184 с.
- Hydraulic Modelling. Ed. H. Kobus. – Hamburg, 1980.