

**ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМИВУ ДЛЯ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ,
ЩО РОЗТАШОВАНІ У НИЖНІХ Б'ЄФАХ ГРЕБЕЛЬ З
ВРАХУВАННЯМ УМОВИ ДОННОГО РЕЖИМУ
ТРАНСПОРТУВАННЯ РУСЛОВИХ НАНОСІВ**

Матвеева К.Ю.

Національний транспортний університет
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: В даній статті запропонована та обґрунтована математична модель для розрахунку загальних руслових деформацій у випадку проходження траси автомобільної дороги у нижньому б'єфі греблі та за умови її руйнування.

АННОТАЦИЯ: В данной статье предложена и обоснована математическая модель для расчета общих русловых деформаций в случае прохождения трассы автомобильной дороги в нижнем бьефе плотины и при условии ее разрушения.

ABSTRACT: This paper proposes and substantiates a mathematical model for calculating the total bed deformations in case passage of a highway track downstream of the dam and on condition of its destruction.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: мостовий перехід на автомобільній дорозі, загальний розмив, математична модель, прорив греблі, хвиля прориву.

У транспортному будівництві при проектуванні мостових переходів, розташованих в нижніх б'єфах некапітальних гребель, слід виконувати прогнозування загальних руслових деформацій за умов руйнування і прориву греблі.

Потоки в річках з деформуючим руслом складаються з двох фаз: рідкої і твердої. Тому для їх математичного описання необхідно, як мінімум чотири рівняння: для кожної фази рівняння нерозривності та руху.

Для всіх без винятку математичних моделей руслових деформацій домінантним рівнянням є рівняння балансу наносів. З фізичної точки зору воно являє фундаментальний закон збереження речовини, який в руслових прогнозах втілюється в закон збереження загальної кількості наносів [1, 4].

Для русел з нерозривними берегами рівняння балансу наносів можна записати в розгорнутому вигляді, який надає йому зручності в аналітичних перетвореннях, і тому набуло поширеного застосування в практиці інженерних прогнозів руслових деформацій. Незважаючи на те, що при його виведенні використано приклад стиснення ріки мостовим переходом, воно має загальний характер,

$$\frac{\partial G}{\partial l} + B_p \frac{\partial h}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

де G — повна витрата наносів в живому перерізі;

h — середня глибина живого перерізу;

B_p — ширина русла між урізами.

Рівняння балансу наносів (1) придатне як для визначення руслових переформувальних в природних умовах, так і прогнозів деформацій дна при будь-якому стисненні ріки гідротехнічними чи транспортними спорудами.

Динамічне рівняння для рухливих наносів представляється інтегральною залежністю, що пов'язує осереднену по ширині русла витрату наносів з гідравлічними характеристиками течії.

Сучасна гідроморфологічна теорія руслового процесу [2, 8] виходить з того, що транспортування донних піщаних і піщано-гравелистих наносів відбувається не окремими крупинками, а їх скупченням — русловими мезоформами, що являють собою скупчення наносів у вигляді пасм, боковиків, осередків. Їх характерні розміри співставні з глибиною русла і корелюють з розмірами крупномірильних когерентних вихрових структур руслового потоку. Переміщення наносних формувань у вигляді руслових мезоформ відбувається під дією осереднених швидкостей в природній області.

Але імпульси турбулентних пульсацій надто слабкі, щоб зрушити всю мезоформу, тому вони стають активними чинниками тільки на рівні окремої частинки наносів або на рівні руслових мікроформ — рифелів. Окремі алювіальні частинки пересуваються по напірній поверхні руслових мезоформ волочінням або сальтуючи по ним, або ж скупчуються в рухливіші за мезоформи рифелі. По досягненні пікової висоти пасм h_{nc} вони скочуються в підвал для мезоформ, де переважна частина їх покривається іншими піщинками і вони врешті-решт опиняються надовго похованими під тілом пасм. Тільки після переміщення пасм на відстань, що дорівнює їх довжині, поховані частинки алювію знов отримують

можливість рухатись, забезпечуючи в такий спосіб транспортування донних наносів.

Для доведення того, що транспорт донних наносів здійснюється загалом русловими мікроформами, які пересуваються по значно більшим мезоформам і, нарощуючи їх крутий укіс, забезпечують їм дуже повільне поступальне переміщення, Ткачуком С.Г. була виведена формула швидкості руху донних руслових пасм з використанням коефіцієнта Шезі [6].

Отже формула транспортуючої спроможності набула наступного вигляду:

$$G = \frac{9660}{C^{4.5} \cdot g^{1.5}} \cdot \frac{V^4}{h^{0.5}} \cdot B_p, \quad (3)$$

де коефіцієнт Шезі C враховує гідроморфологічні особливості ріки, а прискорення вільного падіння g становить питому (віднесену до одиниці маси потоку) силу, що уможливорює плин води.

Вираз (3) встановлює залежність між середньою швидкістю потоку V і його транспортуючою спроможністю G — величинами, які за своєю фізичною сутністю є динамічними. Отже, в математичній моделі загального розмиву цей вираз входить як динамічне рівняння для твердої фази потоку.

Рівняння нерозривності для водного потоку описує дотримання кожної миті в кожному живому перерізі залежності

$$Q = B_p \cdot h \cdot V. \quad (4)$$

При цьому сама витрата води в загальному випадку може змінюватись як за часом, так і по довжині.

При руйнуванні греблі виникає хвиля прориву, що рухається за законами неусталеного руху. Просування по руслам річок різноманітних хвиль завжди супроводжується явищами їх трансформації, які створюють тенденцію до зменшення максимальної витрати води по довжині річки. Отже, динамічне рівняння для рідкої фази потоку повинно описувати зміну витрати води при проходженні хвилі прориву.

Питання про врахування зміни величини максимальної витрати повеневих вод, паводків або хвиль прориву в процесі просування їх річкою виникає при вирішенні багатьох гідрологічних та гідравлічних задач.

У випадку прориву греблі максимальна витрата буде значно збільшена, а отже значно збільшаться і деформації русла, що відіб'ється на режимі експлуатації пропускних транспортних споруд.

Відомо, рух води по руслу супроводжується двома явищами — розпластуванням та перекосом (рис. 1). Розпластування викликано тим, що лобова частина хвилі просувається з більшою швидкістю, ніж задня частина, оскільки похил водної поверхні більший на лобовій частині.

Внаслідок чого задня частина хвилі ніби відстає від лобової, довжина хвилі, тобто довжина ділянки ріки, яку займає хвиля, збільшується, а максимальний рівень та витрата зменшуються. Перекіс хвилі викликаний відносно швидким просуванням верхньої її частини, яка прилягає до гребня; причиною перекосу виступає велика глибина і відповідно велика швидкість течії біля вершини хвилі. В результаті перекосу гілка підйому на гідрографі стає більш крутою, ніж гілка спаду, а максимальний рівень та витрата води деякою мірою зменшуються.

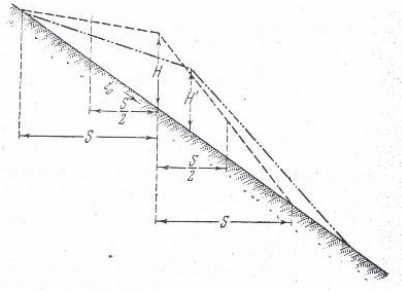


Рис. 1. Гідравлічна схема просування хвилі

Залежність між максимальною витратою води та відстанню від початкового перерізу, до того, який аналізується, була отримана С.Н. Крицьким та М.Ф. Менкелем [3, 5] та має наступний вигляд:

$$Q = Q_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{2 \cdot Q_0^2 \cdot n^2}{W^2 \cdot i_0^2} \cdot l}}, \quad (5)$$

де n — коефіцієнт шорсткості; W — об'єм, який повинен залишатися сталим при переміщенні хвилі вздовж річки.

Вивчаючи вираз (5) можна зробити висновки, що основними факторами, які впливають на інтенсивність зменшення по довжині ріки максимальної витрати є гострота гідрографу, яка характеризується відношенням Q_{\max}/W , шорсткість русла та похил ріки. Максимальна витрата води зменшується по мірі просування хвилі вздовж ріки тим інтенсивніше, чим гостріший гідрограф, тобто чим більше співвідношення Q_{\max}/W , чим більший коефіцієнт шорсткості русла n та чим менший похил ріки i_0 .

Отже можемо записати систему рівнянь, що складає математичну модель загального розмиву при прориві греблі:

$$\begin{cases} \frac{\partial G}{\partial l} + B_p \frac{\partial h}{\partial t} = 0; \\ G = \frac{9660}{C^{4,5} \cdot g^{1,5}} \cdot \frac{V^4}{h^{0,5}} \cdot B_p; \\ Q = B_p \cdot h \cdot V; \\ Q = Q_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{2 \cdot Q_0^2 \cdot n^2}{W^2 \cdot i_0^2} \cdot l}} \end{cases} \quad (6)$$

В ході аналітичної реалізації даної математичної моделі було отримано наступну залежність для визначення розмиву при прориві греблі:

$$h = \left(\frac{Q}{B_p} + 0,1 \right) \cdot \left(1 + \frac{27 \cdot A \cdot n^2}{B_p^4 \cdot W^2 \cdot i_0^2 \cdot h^{5,5} \cdot \lambda^3} \cdot (\Gamma - \Gamma_0) \right)^{\frac{2}{17,5}} \quad (7)$$

де $\Gamma = \int Q_0^6 dt$ — інтегральна функція гідрографу хвильової витрати; $\Gamma_0 = Q_0^6 \cdot 1c$ — інтегральна функція гідрографу хвильової витрати в момент руйнування греблі;

$$A = \frac{9660}{C^{4,5} \cdot g^{1,5}} \quad \text{і} \quad 1 + \frac{2 \cdot Q_0^2 \cdot n^2}{W^2 \cdot i_0^2} \cdot l = \lambda \quad \text{— заміни, які було зроблено}$$

для спрощення розрахунків.

Таким чином математична модель для розрахунку загального розмиву при прориві греблі являє собою систему рівнянь, які описують дві фази потоку: рідку і тверду. В якості динамічного рівняння для рідкої фази потоку задля врахування швидкої зміни його параметрів запропоновано використання рівняння додаткової витрати при проходженні хвилі прориву.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ткачук С.Г. Теорія розмивів на мостових переходах / С.Г. Ткачук. — Д.: АТЗТ Видавництво «Донеччина», 2009. — 200 с.

2. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков / К.В. Гришанин. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 312 с.
3. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов / О.В. Андреев. — М.: Транспорт, 1980. — 215 с.
4. Андреев О.В. Вопросы мостовой гидравлики и гидрологии / О.В. Андреев, М.М. Журавлев, О.А. Рассказов. — М.: Транспорт, 1967. — 200 с.
5. Крицкий С.Н. О расплывании волны высоких вод при движении по призматическому руслу / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель // Проблемы регулирования речного стока. — М.: Изд. АН СССР, 1956. — Вып. 6. — С. 248-262.
6. Ткачук С.Г. Гідравліка. Гідрологія. Гідрометрія: підручник / С.Г. Ткачук. — К.: Кафедра, 2013. — 392 с.
7. Ткачук С.Г. Види хвиль і побудова кривої вільної поверхні при прориві греблі / С.Г. Ткачук, К.Ю. Матвєєва. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. — К.: НТУ, 2013. — Вип. 87. — С. 109-111.
8. Кондратьев Н.Е. Основы гидроморфологической теории руслового процесса / Н.Е. Кондратьев, И.В. Попов, Б.Ф. Сنيщенко. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 272 с.

REFERENCES

1. Tkachuk S.H. Theory of erosion at bridge crossings / Tkachuk S.H. – Donetsk: ATZT Publishing House “Donechchyna”, 2009. – 200 p.
2. Grishanin K.V. Channel-flow dynamics / Grishanin K.V. – L.: Gidrometeoizdat Publ., 1979. – 312 p.
3. Andryeyev O.V. Bridge crossings designing / Andryeyev O.V. – M.: Transport Publ., 1980. – 215 p.
4. Andryeyev O.V. Bridge hydraulics and hydrology questions / Andryeyev O.V., Zhuravlyev M.M., Rasskazov O.A. – M.: Transport Publ., 1967. – 200 p.
5. Kritskiy S.N. About spreading a wave of high water at movement in prismatic channel / Kritskiy S.N., Menkel M.F. // Problems of river flow regulation, 1956. - Issue 6. - P. 248-262.
6. Tkachuk S.H. Hydraulics. Hydrology. Hidrometriya: textbook / Tkachuk S.H. – K.: Kafedra Publ., 2013. – 392 p.
7. Tkachuk S.H. Types of waves and construction of the free surface curve in the breakout of the dam / Tkachuk S.H., Matvieieva K.Yu. // Roads and road building. – K.: NTU, 2013. - Issue 87. - P. 109-111.
8. Kondratyev N.E. Fundamentals of the hydromorphological channel process theory / Kondratyev N.E., Popov I.V., Snishchenko B.F. - L.: Gidrometeoizdat Publ., 1982. – 272 p.

Стаття надійшла до редакції 27.07.2015 р.