

А.Д. КОВАЛЬОВ

ВПЛИВ ТРАНСПОРТУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ НЕОДНОРІДНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКУ НА ЗАГАЛЬНІ ДЕФОРМАЦІЇ ВІДКРИТОГО РУСЛА

Проведення досліджень процесу формування руслових та заплавних потоків під впливом гідротехнічних інженерних споруд, мостових переходів зокрема, є практично необхідним і на сьогоднішній час. Актуальність цієї проблеми обумовлена якістю завчасної оцінки наслідків від штучної зміни режиму річкових потоків. Рішення такого ряду теоретичних та прикладних задач тісно пов'язано зі структурою руслової турбулентності. Ці обставини послужили причиною проведення великої кількості експериментальних досліджень кінематичної структури турбулентного потоку, взаємозв'язків характеристик турбулентності з осередненими характеристиками потоку в лабораторних та природних умовах

Проведение исследований процесса формирования русловых и пойменных потоков под воздействием гидротехнических инженерных сооружений, мостовых переходов в частности, является практически необходимым и на сегодняшний день. Актуальность этой проблемы обусловлена качеством заблаговременной оценки последствий от искусственного изменения режима речных потоков. Решение такого ряда теоретических и прикладных задач тесно связано со структурой русловой турбулентности. Эти обстоятельства послужили причиной проведения большого количества экспериментальных исследований кинематической структуры турбулентного потока, взаимосвязей характеристик турбулентности с осредненными характеристиками потока в лабораторных и естественных условиях

Research the formation of channel and floodplain flows under the influence of hydraulic engineering structures, including bridges, are the necessary and at present time. The urgency of this problem is due to quality early assessment of the effects of artificial changes in river flow regime. The decision of the number of theoretical and applied problems are closely connected with the structure of turbulent channel. These circumstances caused the large number of experimental studies of kinematic structure of turbulent flow characteristics of turbulent relationships with Averaged flow characteristics in laboratory and natural conditions

Мета

Дослідити процеси, що відбуваються у відкритому руслі з врахуванням дискретності турбулентного потоку у його придонному шарі.

Деформації річкового русла здійснюються шляхом двох протилежних процесів — розмиву донних відкладень і місцевої акумуляції наносів. Наноси, що поступили в потік, відкладаються нижче за течією річки на більшій або меншій відстані від місця розмиву. У цьому перевідкладенні і полягає істотна особливість механізму транспорту наносів.

Визначаючи розміри руслових деформацій враховують:

- а) природні зміни русла, відповідні типу руслового процесу річки;

б) загальні розмиви, які обумовлені стисканням водотоку підходами до моста (що приводить до збільшення елементарних витрат води на вертикалях підмостового перетину);

в) місцеві розмиви опор моста, що виникають при локальній зміні гідравлічної структури потоку обтічних ним перешкод;

г) місцеві розмиви у конусів, мостів і заплавних струмененаправляючих споруд [2].

Найбільш небезпечним видом деформації русла, що погрожує стійкості опор мостів, є загальний розмив. Розрахунок загального розмиву на рівнинних річках проводиться в двох припущеннях:

а) розширення русла не відбувається і розмив розвивається тільки в глибину;

б) розширення русла можливе, і розмив відбувається у вигляді змиву берега русла, без збільшення глибини.

Проблемою розрахунку руслових деформацій, опираючись на гідромеханічний метод її розв'язування, займалися такі відомі вчені як: М.А. Веліканов, І.І. Леві, К.В. Гришанін, В.Н. Гончаров, К.І. Росінський, І.Л. Розовський, Ф. Екснер, Л.Н. Лапіна, В.Я.Савенко, А.Б. Клавен та ін.

Один з найбільш досконалих методів розрахунку руслових деформацій запропонований В.Я. Савенко. Розрахунок деформацій русла складається з двох етапів, а саме: розв'язування нестационарної планової задачі відривних течій та розрахунок деформацій розмитого русла на основі отриманих даних про динамічну структуру потоку. Дослідження руслових потоків, як двофазних, з врахуванням донної структури, подані в невеликій кількості робіт, зокрема у роботах.

Рух множини часток наносів в придонній області відбувається не суцільним потоком, а у вигляді дискретних форм, які змінюються в залежності від швидкісної структури потоку. Згідно експериментальних досліджень в руслі транспортування дискретних форм можливе декількома способами:

1. поступальне переміщення;
2. переміщення зі статичними деформаціями;
3. шляхом відступаючого розмиву;
4. бокове або поперечне перенесення;
5. зворотна витрата наносів;
6. поєднання поступального перенесення і деформації;
7. поєднання поступального переміщення із зворотною витратою;
8. поєднання поступального переміщення з бічним перенесенням;

Особливості придонної течії у відкритих потоках були досліджені в роботі. І.К. Нікітін ввів окреме поняття придонного шару, який характеризується певною структурою течії в шорстких руслах. Розміри придонного шару у руслах, складених з галечника, можуть досягати десятків сантиметрів. Границя придонного шару дійсно являє собою границю між двома різко відмінними в енергетичному відношенні областями потоку (рис. 1). Дослідження проводились у лотку малого перерізу при числах Рейнольдса

$Re_{*d_{cp}} = \frac{v_* d_{cp}}{\nu}$, що не перевищували 390, і включали режими течії, що відносяться лише до початку ділянки з квадратичним опором (v_* - динамічна швидкість, ν - в'язкість водного середовища, d_{cp} - середній діаметр часток придонних наносів). Течія в придонному шарі турбулентна, і виступи шорсткості усередині шару обтікаються із квадратичним законом опору. У таких руслах придонний шар не має нічого спільного з поняттям ламінарної плівки.

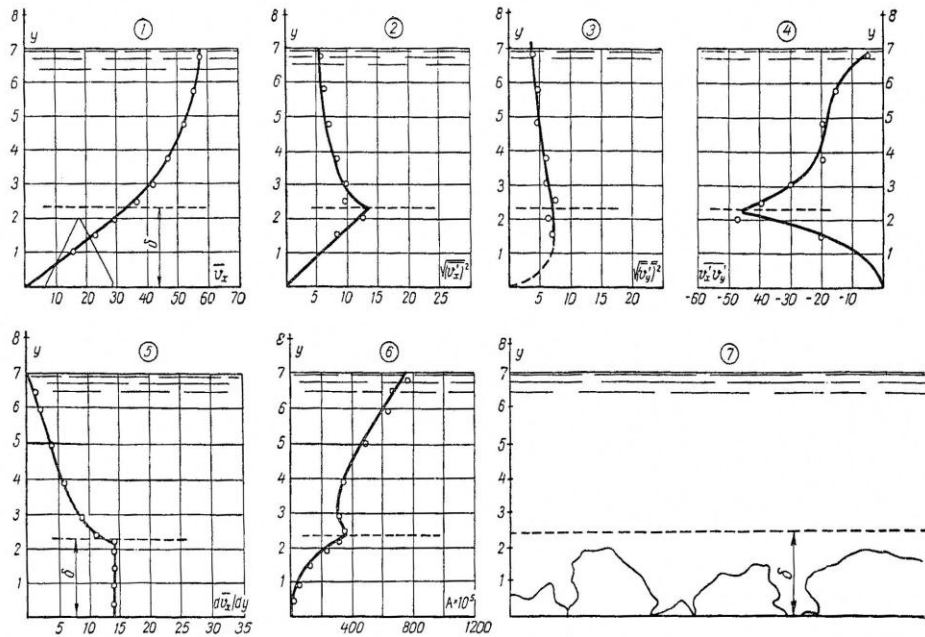


Рис. 1. Структура потоку в придонному шарі русла у момент початку руху наносів

Отриману картину течії було перевірено при великих швидкостях потоку в послідовних серіях досліджень, де числа $Re_{*d_{cp}}$ доводилися до 2000. Графіки на рис. 1 показують, що картина течії у придонній області шорсткої поверхні русла є стійкою і не залежить від відносної шорсткості $\frac{d_{cp}}{H}$ русла. Виходячи з цього можна зробити висновок, що придонний шар шорсткої поверхні русла у загальному випадку **турбулентний**, і молекулярна в'язкість не визначає течію у ньому. При аналізі зусиль, що діють на рідину усередині придонного шару в шорсткому руслі, варто враховувати, що крім сил дотичного напруження за рахунок молекулярної й турбулентної в'язкості більшу роль будуть грати сили опору, що з'являються внаслідок відривного обтікання окремих виступів шорсткості.

Однак в режимі гідравлічного гładкого русла, а також у гładких руслах придонний шар фактично збігається зі звичайним поняттям в'язкого шару як у якісному, так і в кількісному відношенні. Отже, придонний шар є такою характеристикою турбулентного потоку, що поєднує різні за своїм характером

течії в гладкому й шорсткуватому руслах, дозволяє знайти загальні для них закономірності у вигляді залежностей.

Закони турбулентного руху рідини настільки складні, що до цього часу вони надійно розроблені лише для каналів, що мають правильне змінюючи (недеформоване) русло. Головною рисою турбулентного руху є пульсація швидкостей по величині і напрямку. У цьому випадку виникають вихрові турбулентні накопичення, що розподіляються по всій товщі потоку.

Турбулентні характеристики потоку можна визначити на основі великої кількості модифікацій $k-\varepsilon$ і $k-\omega$ моделей турбулентності.

$[k-\varepsilon]$: динамічна турбулентна в'язкість

$$\mu_T = \rho C_\mu k^2 / \varepsilon \quad (1)$$

рівняння переносу турбулентної кінетичної енергії

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho V_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial V_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_T / \sigma_k) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right], \quad (2)$$

рівняння переносу швидкості дисипації енергії турбулентних пульсацій

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho V_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial V_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_T / \sigma_\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right], \quad (3)$$

наближені коефіцієнти

$$C_{\varepsilon 1} = 1,44, C_{\varepsilon 2} = 1,92, C_\mu = 0,09, \sigma_k = 1,0, \sigma_\varepsilon = 1,3, \quad (4)$$

де t - час; ρ - густина потоку; μ - в'язкість; V_j - швидкість потоку; τ_{ij} - тензор турбулентних напружень.

$[k-\omega]$:

динамічна турбулентна в'язкість

$$\mu_T = \rho k / \omega \quad (5)$$

рівняння переносу турбулентної кінетичної енергії

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho V_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial V_i}{\partial x_j} - \beta^* \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma^* \mu_T) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right], \quad (6)$$

рівняння переносу особливої швидкості розгону:

$$\rho \frac{\partial \omega}{\partial t} + \rho U_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \alpha \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial V_i}{\partial x_j} - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma \mu_T) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right], \quad (7)$$

наближені коефіцієнти

$$\alpha = 5/9, \beta = 3/40, \beta^* = 9/100, \sigma = 1/2, \sigma^* = 1/2 \quad (8)$$

допоміжні співвідношення

$$\varepsilon = \beta^* \omega k, \quad l = k^{1/2} / \omega. \quad (9)$$

$k-\varepsilon$ модель зазвичай застосовується на дрібнокрокових сітках, які дозволяють отримати рішення в зоні в'язкого прошарку. Сімейство $k-\omega$ моделей представлено SST-моделлю (shear-stress transport – розподілене транспортує навантаження). Стандартна $k-\omega$ модель враховує низькорейнольдсові ефекти, вплив стисливості й поширення зсувних збурювань, однак істотно уступає по широті застосування моделям сімейства $k-\varepsilon$ [7]. Модель переносу зсувних напружень SST використовує $k-\omega$ модель у пристінній області й перетворену $k-\varepsilon$ модель удалині від стінки.

Дані моделі розрахунку пульсаційних характеристик турбулентного потоку розраховані на однорідні потоки, що у природному середовищі майже не зустрічаються.

Тому подальший напрямок роботи передбачається в проведенні моделювання гідродинамічних процесів, які відбуваються в неоднорідних потоках, зокрема в придонній області русел, та пристосуванні до цих умов моделей турбулентності, в розробці методів їх реалізації для проведення інженерних розрахунків по визначенню загальних руслових деформацій.

Перелік посилань

1. Михайлова Н.А. Перенос твердых частиц турбулентными потоками. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. - 235 с.
2. Андреев О.В., Федотов Г.А. Проектирование мостовых переходов с применением ЭЦВМ. Ч. II, М., 1976 г. 120 с. (МАДИ)
3. Савенко В.Я. Математические модели и методы расчета квазитрехмерных безнапорных потоков. - К.: Техніка, 1995. 184 с.
4. Славінська О.С. Гідродинамічний опис структури придонної області турбулентного потоку з урахуванням кореляцій руху часток наносів // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – Рівне НУВГП, 2006. Випуск 31. С. 278-286.
5. Знаменская Н.С. Грядное движение наносов. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 188 с.
6. Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области. – Киев: Изд-во АН УССР, 1963. – 141 с.

7. Савенко В.Я., Славинская Е.С. Моделирование процессов развития внутренних течений с учетом анизотропии открытых турбулентных потоков. – К.:НТУ, 2004. – 176 с.

УДК 627.15

С.Г.ТКАЧУК, докт. техн. наук, **Ю.Б.ЄВСЕЙЧИК**, канд. техн. наук,
І.В.БАШКЕВИЧ,

ОТРИМАННЯ РІВНЯННЯ ДЛЯ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ У ПІДМОСТОВОМУ РУСЛІ, ЩО РОЗМИВАЄТЬСЯ

Виходячи із математичної моделі руслових деформацій, яка заснована на рівнянні балансу наносів, отримано диференціальне рівняння для швидкості потоку у підмостовому руслі з урахуванням його розмиву. Показано, що воно відноситься до класу однорідних квазілінійних рівнянь I порядку і може бути зведено до рівняння переносу. Отримано рішення відповідної задачі Коші.

Исходя из математической модели русловых деформаций, которая основана на уравнении баланса наносов, получено дифференциальное уравнение для скорости потока в подмостовом русле с учетом его размыва. Показано, что оно относится к классу однородных квазилинейных уравнений I порядка и может быть приведено к уравнению переноса. Получено решение соответствующей задачи Коши.

Coming from the mathematical model of river-bed deformations, which is based on equation of alluviums balance, it is got the differential equation for a flowrate in a subbridge river-bed taking into account the wash-out of this. It showed that it behaves to the class of homogeneous equations of I (first) order and it can be lead to equation of transfer. The decision of the Cauchy appropriate task is got.

Визначення швидкості потоку у зоні впливу мостового переходу є важливим питанням, як з точки зору укріплення мостових дамб, так і з точки зору навігації, де існують певні обмеження для руху суден під мостами.

Математична модель руслових деформацій, які відбуваються при стисненні ріки мостовим переходом, відома [2] і складається із чотирьох рівнянь

$$\frac{\partial G}{\partial l} - B \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$G = A \cdot B \cdot V^4 \quad (2)$$

$$Q_p = V \cdot B \cdot h \quad (3)$$

$$\beta = \left(1 - \frac{l}{R}\right)^{-1} \quad (4)$$