

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ НЕРОЗМИВНИХ ШВИДКОСТЕЙ ПРИ РОЗРАХУНКАХ ДЕФОРМАЦІЙ НА ЗАПЛАВНИХ ДІЛЯНКАХ

METHODS FOR DETERMINING NON-WASHING OUT VELOCITIES IN THE CALCULATION OF DEFORMATIONS IN THE MELTING ZONES



Цинка Анатолій Олександрович, Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна», перший заступник директора, anatoliy.tsynka@gmail.com, +38097 737 98 43,

<http://orcid.org/0000-0002-0357-2325>

Анотація. В роботі проведено аналіз причини виникнення деформацій на заплавних ділянках. Розвиток деформаційних процесів починається з затоплення заплави водою, супроводжується збільшенням середньої швидкості потоку, при якій відбувається розмив рослинного шару, поки не відбудеться злиттям русла з заплавою. Дослідження показують, що середня нерозмивна швидкість, яка формується русловим потоком після закінчення розмиву підмостового русла, залежить від глибини потоку, діаметрів часток наносів, неоднорідності складу ґрунтів, питома витрати та турбулентного стану заплавного потоку. У авторів окремих залежностей не існує єдиного підходу до визначення умов граничної рівноваги часток ґрунту і нерозмивних швидкостей, що їм відповідають. Як правило, нерозмивна швидкість відповідає середній швидкості потоку, при якій частки на дні уже не переміщуються. Для визначення швидкості, при якій відбувається вже безперервний відрив окремих часток на дні, використовують перехідні коефіцієнти, а в якості характеристики крупності суміші неоднорідних наносів рекомендується приймати середньозважений діаметр. Наведений аналіз показує, що на сьогодні відсутній єдиний підхід до врахування впливу неоднорідності ґрунту на величину нерозмивної швидкості, а запропоновані підходи щодо визначення деформацій на заплавах не враховують розподіл рослинності в потоці.

Ключові слова: мостовий перехід, нерозмивна швидкість, заплавний потік, розмиви на заплавах.

Вступ. В період весняних паводків виникає небезпека виведення з ладу мостових переходів за рахунок руслових деформацій та розвитку ям розмиву на заплавних ділянках. Посилений винос частинок ґрунту – розмив на одній з ділянок, в руслі або на заплаві, або одразу на обох ділянках, обумовлений збільшенням витрат води та відповідним зростанням швидкостей течій. Розмиви на цих частинах отвору мосту відбуваються з різних причин. Прогноз глибин у руслі після розмиву визначають за рівнянням балансу приносу – виносу наносів. На заплавних ділянках, після перекриття частини заплави по ширині насипами підходів, ці процеси відбуваються за рахунок територіального перерозподілу водного потоку. Величина розмиву в такому випадку залежить від співвідношення швидкості заплавного потоку до нерозмивної швидкості для ґрунтів, що складають цю ділянку.

Мета і методи. Руслоформуючі фактори та транспорт наносів, що відбуваються в руслі та на заплаві річок детально розглянуто в роботі [1], що дозволяє проаналізувати деформаційні процеси на цих ділянках. Визначення гідравлічної шорсткості заплави запропоновано в роботі [2], де затоплений водою об'єм рослинності приймається за характерний узагальнений параметр. Процес виходу руслового потоку на заплаву, проаналізований в роботі [3], поділено на два періоди, які відповідно характеризуються зменшенням швидкості під впливом рослинного покриву та взаємодією за рахунок постійного обміну енергією між русловим та заплавним потоками. А формування поля мутності за рахунок обміну між руслом і заплавою – на три фази: донасичення, транспортування, осідання. Наноси, що

осіли з часом на заплаві, у результаті підвищення рівня води або руйнування річкою берегового заплавної уступу повертаються назад у річку. Але чітко визначити різницю між зворотними і незворотними деформаціями на заплаві важче, ніж у руслі, оскільки обмін наносами між заплавою і руслом може бути як урівноваженим, так і навпаки. Елементи рельєфу заплави можуть не відповідати сучасному режиму річки. Крупні фракції у вигляді окремих невеликих скупчень виявляються на поверхні заплави в окремих місцях, де під час повені виникають місцеві значні швидкості течії. Дрібні фракції, занесені на заплаву у паводок в зваженому стані переносяться у глиб заплави та покривають донні наноси.

Враховуючи особливості деформаційних процесів, що можуть розвиватися на заплавах, метою даної роботи є проведення аналізу методів визначення нерозмивних швидкостей при визначенні величини розмивів на заплавних ділянках. Задача проведення досліджень: встановити функцією яких величин є середня нерозмивна швидкість, що формується русловим потоком після закінчення розмиву підмостового русла.

Результати і пояснення. При розрахунку деформацій необхідно враховувати різні причини їхнього виникнення для руслових і заплавних ділянок. Швидкості на заплавній ділянці значно менші ніж в руслі через меншу витрату, заплави мають значний рослинний покрив, різняться геологічна та геометрична будови русла і заплави. Розмив русел відбувається через порушення балансу наносів, розмив заплавних ділянок відбувається при перевищенні нерозмивної швидкості над швидкість в потоці. Розвиток деформаційних процесів починається з затоплення заплави водою, супроводжується збільшенням середньої швидкості потоку, яка стає достатньою для того, щоб розмивати рослинний шар та вимивати рослини. А коли нижні шари опиняться оголеними, розмив буде тривати інтенсивніше, швидкість зростатиме поки не відбудеться злиттям русла з заплавою. Тому глибину потоку на заплаві після розмиву визначають за формулою

$$h^{n+1} = \frac{h^n \beta_{II} \langle U_{SL} \rangle_{i,j}^n}{(1 - \lambda) U_{нерозм}}, \quad (1)$$

де $\langle U_{SL} \rangle_{i,j}^n$ - середні за глибиною (на вертикалі) значення швидкості потоку на часовому шарі n ,

$$\langle U_{SL} \rangle_{i,j}^n = \frac{1}{h} \int_{z_0}^H (U)_{i,j}^n dx_3, \text{ м/с;}$$

β_{II} - степінь стиснення заплавного потоку;

B_{pier} - дширина опори, м;

λ - відносна ширина опори, $\lambda = B_{pier} / l_{np}$, l_{np} - довжина прольоту мосту, м.

Дослідження показують, що середня нерозмивна швидкість, яка формується русловим потоком після закінчення розмиву підмостового русла, є функцією наступних величин:

$$U_{нерозм} = f(\rho_S^o, \rho_L^o, h, D, \varphi, S, T, \dots, M), \quad (2)$$

де ρ_S^o - густина частки наносів, що складають русло та заплаву, $\rho_S^o = 2650 \text{ кг/м}^3$;

ρ_L^o - густина води, $\rho_L^o = 1000 \text{ кг/м}^3$;

h - глибина потоку, м;

D - діаметри частки наносів, м.

φ - коефіцієнт, який враховує неоднорідність складу ґрунтів;

$S = \frac{Q_s}{Q}$ - мутність потоку (відносний вміст наносів у потоці);

Q_s - питома витрата наносів;

Q - питома витрата води;

T - параметр, який характеризує турбулентність потоку;

M - інші величини.

У авторів окремих формул не було єдиного підходу до визначення умов граничної рівноваги часток ґрунту і нерозмивних швидкостей, що їм відповідають. В.С. Кнороз [4] у своїх дослідях за нерозмивну швидкість прийняв середню величину з двох швидкостей, які відповідають першим переміщенням часток і їх масовому рухові по всій ширині лотка:

$$\frac{U_{\text{нерозм}}}{\sqrt{gD}} = 1,3 \lg \frac{14,7h}{D^{0,75}}. \quad (3)$$

У формулі (4) В.Н. Гончарова нерозмивна швидкість відповідає середній швидкості потоку, при якій частки на дні уже не переміщуються. Для переходу до їх так званої зриваючої швидкості, при якій відбувається вже безперервний відрив окремих часток на дні, він рекомендує коефіцієнт 1,4. Формула В.Н. Гончарова [5, 6]:

$$\frac{U_{\text{нерозм}}}{\sqrt{gD}} = 0,95 \lg \frac{8,8h}{D}. \quad (4)$$

Г.І. Шапов [7] за нерозмивну швидкість $U_{\text{нерозм}}$ приймає середню швидкість, при якій починається рух наносів. Крім того, він вводить поняття нижньої граничної швидкості потоку $u_{\text{н.г.}} = \frac{U_{\text{нерозм}}}{1,2}$, при якій припиняється рух наносів, і верхньої граничної швидкості $u_{\text{в.г.}} = 1,3U_{\text{нерозм}}$, при якій починається масовий рух наносів:

$$\frac{U_{\text{нерозм}}}{\sqrt{gD}} = 1,47 \left(\frac{h}{D} \right)^{\frac{1}{6}}. \quad (5)$$

В дослідях А.М. Мухамедова [8] за нерозмивну швидкість прийнято її значення, яке відповідає рухові лише окремих часток по всій довжині лотка, а в дослідях Б.І. Студеничникова [9], – яке відповідає припиненню руху наносів після змиву деякого нестійкого шару часток ґрунту:

$$\frac{U_{\text{нерозм}}}{\sqrt{gD}} = 1,15 \left(\frac{h}{D} \right)^{0,25}. \quad (6)$$

В.Н. Гончаров [6, 10, 11] в якості характеристики крупності суміші неоднорідних наносів рекомендує приймати середньозважений діаметр. Вплив же ступеню неоднорідності ґрунту на нерозмивну швидкість в ранній своїй роботі [11] В.Н. Гончаров пропонує враховувати коефіцієнтом неоднорідності

$$\varphi = \frac{D_{\text{сеп}}}{D_{\text{max}}}, \quad (7)$$

де $D_{\text{сеп}}$ – середньозважений діаметр часток;
 D_{max} – діаметр найбільших часток в суміші,
і розрахунок нерозмивної швидкості для неоднорідних ґрунтів виконувати за наступною формулою:

$$U_{\text{нерозм}} = 3,9h^{0,2} \varphi^{0,2} (D_{\text{сеп}} + 0,0014)^{0,3}. \quad (8)$$

Г.І. Трофимов [12] за матеріалами натурних спостережень встановив, що можливі випадкові відхилення D_{max} призводять до того, що значення швидкостей за формулою (8) виходять в 1,5-2 рази меншими, ніж в дійсності. Таку розбіжність він пояснював більшою неоднорідністю природних ґрунтів

у порівнянні з тими, які випробовувались в лабораторії, і вважає більш правильним коефіцієнт неоднорідності приймати у вигляді наступного відношення:

$$\varphi = \frac{D_{\text{сер}}}{D_{90}}, \quad (9)$$

де D_{90} – діаметр часток, який відповідає 90% за кривою гранулометричного складу.

У своїх більш роботах [6, 10] В.Н. Гончаров відмовився від урахування неоднорідності ґрунту за допомогою коефіцієнту φ . Вважаючи, що при змішаному складі ґрунту висота виступів шорсткості визначається не середніми, а найбільш крупними частками D_5 , частка яких складає 5%, він ввів у знаменник логарифма формули (4) замість $D_{\text{сер}}$ крупність D_5 , подаючи її в наступному вигляді:

$$U_{\text{нерозм}} = 0,95 \sqrt{gD_{\text{сер}}} \lg \frac{8,8h}{D_5}, \quad (10)$$

де D_5 – середній розмір найбільш крупних часток, які складають 5% у суміші.

І.І. Леві [13] в якості середнього розміру, який визначав крупність неоднорідних ґрунтів, пропонував приймати також $D_{\text{сер}}$. Вплив же ступеню неоднорідності суміші на нерозмивну швидкість враховував як введенням у логарифм формули для нерозмивної швидкості замість середнього розміру часток $D_{\text{сер}}$ більш крупного діаметру D_{90} , так і врахуванням коефіцієнту неоднорідності φ . Його розрахункова формула для неоднорідних ґрунтів має такий вигляд:

$$U_{\text{нерозм}} = 1,4 \sqrt{gD_{\text{сер}}} \varphi^{0,1} \lg \frac{12h}{D_{90}}, \quad (11)$$

де $\varphi = D_{\text{сер}} / D_{\text{max}}$, тобто за рекомендаціями В.Н. Гончарова [11].

У своїй роботі К.В. Гришанін [14] пропонував за характеристику крупності неоднорідних ґрунтів приймати не середньозважений діаметр $D_{\text{сер}}$, а медіанний D_{50} , який відповідає 50% за кривою гранулометричного складу. В якості розрахункової формули нерозмивних швидкостей для неоднорідних ґрунтів ним була рекомендована формула І.І. Леві в наступному вигляді:

$$U_{\text{нерозм}} = 1,3 \sqrt{gD_{50}} \varphi^n \lg \frac{12h}{D_{90}}, \quad (12)$$

де $\varphi = D_{50} / D_{90}$;

$n=0,2$ за В.Н. Гончаровим і $n=0,1$ за І.І. Леві.

П.В. Єгізаров [15] формулу нерозмивної швидкості представив в наступному загальному вигляді:

$$U_{\text{нерозм}} = \sqrt{f_0 a_{SL} g D} \sqrt{\frac{2}{\lambda}}, \quad (13)$$

де $a_{SL} = \frac{\rho_S^o - \rho_L^o}{\rho_L^o}$ – відносна щільність часток;

f_0 – коефіцієнт опору рухливого русла в умовах граничної стійкості наносів:

$$f_0 = \frac{0,06 \Phi}{C_x \lg \left(19 \frac{D_{50}}{D_r} \right)}, \quad (14)$$

де Φ – коефіцієнт форми зерен;

C_D – коефіцієнт опору частки, залежить від форми частки та умов її руху;

D_r – розмір виступів шорсткості.

Так як для неоднорідних ґрунтів $D_{50} < D_r$, то нерозмивна швидкість для цих ґрунтів за рекомендаціями І.В. Єгіазарова отримується більшою, ніж для однорідних ґрунтів.

В.Ф. Толмаза [16] також вважав, що нерозмивні швидкості для неоднорідних ґрунтів збільшуються, вводячи в розрахункову формулу коефіцієнт неоднорідності у вигляді:

$$\varphi = \left(\frac{D_r}{D_{\text{ср}}} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad (15)$$

Спираючись на ряд експериментальних досліджень процесу розмиву на моделі лабораторної річки з мостовим переходом, В.Я. Савенко в своїй роботі [17] рекомендує для визначення нерозмивної швидкості використовувати отримані В.С. Кнорозом вирази. Це формули, які відповідають трьом відомим випадкам гідравлічного опору при турбулентному русі рідини: для автотельної області, де опір дна потоку не залежить від в'язкості води; для перехідної області, де опір залежить від шорсткості дна та від в'язкості води; для області гладкостінного опору, де опір дна не залежить від шорсткості дна.

Для автотельної області, при $D > 1,5$ мм, формула має вигляд:

$$U_{\text{нерозм}} = 1,3 \sqrt{gh} \lg \frac{12h}{\Delta_a}, \quad (16)$$

де Δ_a , згідно рекомендацій [17], слід приймати рівній діаметру часток, забезпеченому на 90%, тобто $\Delta_a = D_{90}$.

У перехідній області, при $1,5 > D > 0,25$ мм,

$$U_{\text{нерозм}} = 32D^{0,25} \left(\lg \frac{7,5h}{D} - 5,5D \right). \quad (17)$$

В області гладкостінного опору, при $D < 0,25$ мм,

$$U_{\text{нерозм}} = \frac{90D^{0,05} h^{0,125}}{\sqrt{h^{0,25} + 7,5}}. \quad (18)$$

Таким чином значення нерозмивної швидкості обумовлене не тільки глибиною потоку, а залежить від фракції часток придонного ґрунту на заплаві.

Висновки та рекомендації. Геоморфометрична будова заплавної ділянки характеризується наявністю значної рослинності різного походження, крупними фракціями ґрунту, покритими намулками від попередніх повенів та паводків і суттєво генетичною несхожістю з руслами. Наведений короткий огляд робіт показує, що на сьогодні відсутній єдиний підхід до врахування впливу неоднорідності ґрунту на величину нерозмивної швидкості, що свідчить про складність оцінки критерію граничної стійкості неоднорідної за крупністю суміші часток, які складають русло та заплаву. Запропоновані підходи щодо визначення деформацій на заплавах не враховують розподіл рослинності в потоці, що в кінцевому результаті не дозволяє визначити реальний розподіл швидкісної структури та відповідні параметри розмивів.

Перелік посилань

1. Кондратьев, Н.Е. Основы гидроморфологической теории руслового процесса [Текст] / Кондратьев, Н.Е., Попов, И.В., Сущенко, Б.Ф. Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 272 с.
2. Симонов, В.В. Модель приповерхностного турбулентного потока при наличии проницаемых препятствий [Текст] / Симонов, В.В. // Физика пограничного слоя. - Труды ГГО. – 1984, вып.483. С. 22-35.

3. Славінська, О. С. Теоретичні засади розвитку деформацій на заплавах ділянках в зоні впливу мостових переходів / Славінська, О. С., Бабич, Ю.Д. / Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2010. – вип. 78. – с. 3-8. Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/78/003-008.pdf
4. Кнороз, В.С. Неразмывающие скорости для несвязных грунтов и факторы, ее определяющие [Текст] / Кнороз, В.С. / Известия ВНИИГ., т. 59.,1958.
5. Гончаров, В.Н. Динамика русловых потоков [Текст] / Гончаров, В.Н. / М.: Гидрометеиздат. Моск.отд-ние, 1962. - 374 с.
6. Гончаров, В.Н. Основы динамики русловых потоков [Текст] / Гончаров, В.Н. Гидрометеиздат, Л., 1954.
7. Шамов, В.И. Формула для определения предельной скорости и расхода донных наносов [Текст] / Шамов, В.И. / Труды ГГИ, вып. 36, 1952.
8. Мухамедов, А.М. К вопросу оценки размывающей способности потока [Текст] / Мухамедов, А.М., Ирмухамедов, Х.А., Каюмов, О.А. / Труды САНИИРИ, вып. 117, 1968.
9. Студеничников, Б.И. Размывающая способность потока и методы русловых расчётов [Текст] / Студеничников, Б.И. / Изд. литературы по строительству. М., 1964.
10. Гончаров, В.Н. Динамика русловых потоков [Текст] / Гончаров, В.Н. / Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 376 с.
11. Гончаров, В.Н. Движение наносов. ОНТИ, главная редакция строительной литературы [Текст] / Гончаров, В.Н./ М.-Л., 1938.
12. Трофимов, Г.И. «О неразмывающей скорости для песчаных грунтов» [Текст] / Трофимов, Г.И./ Гидротехническое строительство, № 1, 1956.
13. Леви, И.И. Динамика русловых потоков [Текст] / Леви, И.И./ Госэнергоиздат. М.-Л., 1957.
14. Гришанин, К.В. Теория руслового процесса [Текст] / Гришанин, К.В./ М.:Транспорт, 1972. – 216с.
15. Егиазаров, И.В. Горный русловой и селевой процесс. Классификация и расчёт. Сб. «Селевые потоки и горные русловые процессы» [Текст] / Егиазаров, И.В./ Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1968.
16. Талмаза, В.Ф. Гидроморфометрические характеристики горных рек [Текст] / Талмаза, В.Ф., Крошкин, А.Н. / Изд-во «Кыргызстан», Фрунзе, 1968.
17. Савенко, В.Я. Математические модели и методы расчета квазитрёхмерных безнапорных потоков [Текст] / Савенко, В.Я./ К.: Техніка, 1995. – 184 с.

METHODS FOR DETERMINING NON-WASHING OUT VELOCITIES IN THE CALCULATION OF DEFORMATIONS IN THE MELTING ZONES

Tsynka Anatolii, State Enterprise «M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise», first deputy director, anatoliy.tsynka@gmail.com, +38097 737 98 43, <http://orcid.org/0000-0002-0357-2325>

Abstract. The analysis of the causes of deformations in the flood plains was carried out. The development of deformation processes begins with flooding with water, and is accompanied by an increase in the average flow rate at which the vegetation layer is eroded until the channel merges with the floodplain. Studies show that the average non-washing out velocity is formed by a channel stream after the end of the erosion of the underbed, depends on the depth of flow, the diameter of the sediment particles, the heterogeneity of soil composition, the specific cost and the turbulent state of the floodplain flow. The authors of individual dependencies do not have a uniform approach to determining the conditions of the maximum equilibrium of soil particles and the non-washing out velocities corresponding to them. In general, the non-washing out velocity corresponds to an average flow rate at which particles on the bottom are no longer moved. Transition coefficients are used to determine the rate at which individual particles are already continuously separated at the bottom, a weighted average diameter is recommended as a characteristic of the heterogeneous sediment mixture. The above analysis shows that there is currently no uniform approach to considering the non-washing out velocity impact of soil heterogeneity, and the proposed approaches to the delineation of deformations on grasslands do not take into account the distribution of vegetation in the stream.

Key words: bridge crossing, indelible speed, floodplain flow, floodplain erosion

References

18. Kondrat'yev, N.Ye., Popov, I.V., Snishchenko, B.F. (1982) Osnovy gidromorfologicheskoy teorii ruslovogo protsessa. - L.:Gidrometeoizdat, 272 p.
19. Simonov, V.V. (1984) Model' pripoverkhnostnogo turbulentnogo potoka pri nalichii pronitsayemykh prep'yatstviy // Fizika pogranichnogo sloya. - Trudy GGO, vol. 483. p.22-35.
20. Slavinska O. S., Babich, Y.D. (2010), Theoretical bases for the development of deformations on flood plains in the area affected by bridge crossings / Roads and road construction, vol. 78, p. 3 – 8. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/78/003-008.pdf
21. Knoroz, B.C. (1958) Velocities for unrelated soils and its determinants. VNIIG news., t. 59.
22. Honcharov, V.N. (1962) Dynamics of Channel Flows. - M.: Hydrometeorological Produces. Moscow department, 374 p.
23. Honcharov, V.N. (1954) Fundamentals of flow dynamics. Hydrometeorological Produces, L.
24. Shamov, V.I. (1952) Formula for determining limit speed and bottom sediment flow. Writings of the GGI, vol. 36.
25. Mukhamedov, A.M., Irmukhamedov, X.A., Kayumov, O.A. (1968) On the assessment of the dilution capacity of the flow. Works of SANIIRI, vol. 117.
26. Studenichnikov, B.I. (1964) Diluting the Flow and Methods of Channel Calculations. Publishing House. Construction Literature. M.
27. Honcharov, V.N. (1962) Dynamic in channel flows. – L.: Hydrometeorological Produces. 376 p.
28. Honcharov, V.N. (1938) Sediment movement. ONTI, Main Edition of Construction Literature, M.-L.
29. Trophimov, H.I. (1956) «About the inexhaustible velocity for sandy soils». Hydrotechnical Construction, № 1.
30. Levi, I.I. (1957) Dynamic in flows of streams. Gosenergo publishing. M.-L.
31. Grishanin, K.V. (1972) Channel process theory. - M.: Transport, 216 p.
32. Egiazarov, I.V. (1968) Mountain Channel and Mud Process. Classification and Calculation. Collection. «Mudflows and Mountain Channel Processes». AS Arm. SSR Publishing House, Yerevan.
33. Talmaza, V.F., Kroshkin, A.N. (1968) Hydromorphometric characteristics of mountain rivers. Izdvo «Kyrgyzstan», Frunze.
34. Savenko, V.Y. (1995) Mathematical models and methods for calculating quasi-beam-free flows. - K.: Technology, 184 p.