УДК 627.15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РАЗМЫВА В СИСТЕМЕ МНОГОЛЕТНЕГО ПРОГНОЗА РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Башкевич И.В.

Национальный транспортный университет,
Украина, 01010, г. Киев, Суворов 1,
кафедра «Мосты и тоннели», kproekt@mail.ru

Аннотация

Предлагается математическая модель и ее аналитическая реализация для определения остаточного размыва с применением линейной характеристики трансформации руслового расхода.

Ключевые слова: мостовой переход, русловые деформации, остаточный размыв, коэффициент сжатия потока под мостом.

THE DETERMINATION OF RESIDUAL WASHOUTS IN THE LONG-TERM FORECAST CHANNEL STRAIN IN DESIGN BRIDGE CROSSINGS

Bashkevich I.

National Transport University (Ukraine)

Abstract

The work offers a mathematical model and its analytical realization for determination of the remaining washout with the use of linear description of transformation of river-bed expense.

Key words: bridge crossing, river bed deformation, residual washout, the compression ratio of flow under the bridge.

С появлением в Украине строительных норм ДБН В.2.3-14:2006 «Мости та труби. Правила проектування», стало обязательным прогнозирование общего размыва за многолетний период при больших стеснениях или особых условиях проектирования. В системе многолетнего прогноза русловых деформаций на мостовых переходах приобретает большое значение определение остаточного размыва, под которым понимают деформированный продольный профиль дна русла на момент освобождения пойм от воды. На момент остаточного размыва существенно сокращается длина зоны сжатия из-за уменьшения ширины размыва, и главнее всего то, что в момент освобождения поймы от воды уменьшается коэффициент сжатия потока под мостом. В математической модели остаточного размыва это обстоятельство отражается в характеристике трансформации руслового расхода. Исследования показали, что при малых стеснениях и при разных значениях показателя степени, характеристика трансформации руслового расхода изменяется по линейному закону. Результаты исследования показаны на рисунке (рис. 1).

В связи с этим, характеристика трансформации руслового расхода в зоне сжатия может рассматриваться линейной или почти линейной.

Русловые деформации в зоне влияния мостовых переходов и переформирование дна в бытовых условиях описывается системой, которая состоит из двух пар уравнений неразрывности и движения, соответственно для воды и наносов [1]. Четыре уравнения – это минимальное количество, которое удовлетворяет корректной постановке задачи, но в зависимости от ее конкретного содержания они могут принимать разный вид.

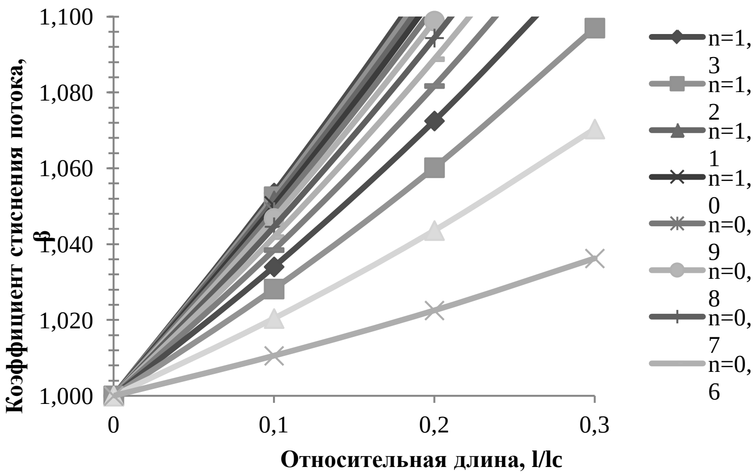

Рис. 1. Характеристика трансформации руслового расхода для остаточного размыва

Таким образом, математическая модель остаточного размыва (1) состоит из дифференциального уравнения баланса наносов, формулы транспортирующей возможности руслоформирующих наносов, уравнения неразрывности потока и его характеристики трансформации:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial G}{\partial l} - B_p \cdot \dfrac{\partial h}{\partial t} = 0 \\ G = A_\partial \cdot B_p \cdot \dfrac{V^4}{h^{1/2}} \\ Q_p = B_p \cdot h \cdot V \\ \beta_p = 1 + k \cdot l \end{cases}, \qquad (1)$$

где G и Q_p – расходы наносов и воды;

h и B_p – соответственно глубина и ширина русла;

V – скорость руслового потока;

A_∂ – коэффициент, учитывающий физические свойства наносов;

β_p – коэффициент трансформации руслового расхода в зоне сжатия (изменяется по течению почти линейно, от 1 в створе, где начинается сжатие к β_{pm} под мостом);

l – расстояние от начала сжатия;

k – коэффициент пропорциональности, вычисляемый по формуле

$$k = \frac{\beta_{pm} - 1}{l_c}, \tag{2}$$

где l_c – длина зоны сжатия.

Используя уравнение неразрывности для водного потока и коэффициент трансформации руслового расхода, динамическое уравнение движения наносов преобразуется следующим образом

$$G = \frac{A_\partial \cdot Q_{pn}^{\ 4} \cdot \beta_p^{\ 4}}{B_p \cdot h^{5,5}}, \tag{3}$$

где Q_{pn} – бытовой расход воды в русле, который изменяется только со временем соответственно гидрографу и остается постоянным по длине.

Для определения градиента расхода наносов выполняется замена под знаком производной независимой переменной l на переменную β_p, по которой и выполняется дифференцирование. С учетом однозначной связи между величинами β_p и l, можно записать

$$\frac{\partial G}{\partial l} = k \cdot \frac{\partial G}{\partial \beta_p}.$$

Взяв производную $\frac{\partial G}{\partial l}$, получим выражение градиента расхода наносов

$$\frac{\partial G}{\partial l} = \frac{4 \cdot k \cdot A_\partial \cdot Q_{pn}^{\ 4} \cdot \beta_p^{\ 3}}{B_p^{\ 3} \cdot h^{4,5}} - \frac{4 \cdot k \cdot A_\partial \cdot Q_{pn}^{\ 4} \cdot \beta_p^{\ 4}}{B_p^{\ 3} \cdot h^{5,5}} \cdot \frac{\partial h}{\partial \beta_p}. \tag{4}$$

После подстановки (4) в систему (1) и применения уже известного метода ее решения [2], получаем для нее квазилинейное уравнение общих русловых деформаций

$$\frac{4 \cdot k \cdot A_\partial \cdot Q_{pn}^{\ 4} \cdot \beta_p^{\ 4}}{B_p^{\ 4} \cdot h^{5,5}} \cdot \frac{\partial h}{\partial \beta_p} + \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{4 \cdot k \cdot A_\partial \cdot Q_{pn}^{\ 4} \cdot \beta_p^{\ 3}}{B_p^{\ 4} \cdot h^{4,5}} \tag{5}$$

В соответствии с теорией квазилинейных уравнений, эквивалентная ему система обычных дифференциальных уравнений записывается в симметричной форме следующим образом

$$\frac{d\beta_p}{\dfrac{4\cdot k\cdot A_\partial\cdot Q_{pn}{}^4\cdot \beta_p{}^4}{B_p{}^4\cdot h^{5,5}}} = dt = \frac{dh}{\dfrac{4\cdot k\cdot A_\partial\cdot Q_{pn}{}^4\cdot \beta_p{}^3}{B_p{}^4\cdot h^{4,5}}}. \qquad (6)$$

Составные элементы системы (6) являют собой отношение дифференциалов независимых переменных к коэффициентам при соответствующих производных искомой функции. Для составления двух обычных уравнений нужно соединить их попарно в любом порядке. Таких неповторяющих самих себя комбинаций может быть только три. Например, первое со вторым, первое с третьим и третье со вторым. С целью получения общего решения квазилинейного уравнения нет необходимости решать все три комбинации уравнений. Достаточно решить любые два уравнения. Выбор этих уравнений зависит от сложности их решения и связанные с этим осложнения, которые возникают при учете начальных условий.

Первое обычное дифференциальное уравнение образуется в результате комбинации крайних членов системы (6), которое после сокращения подобных членов возводится к типу с раздельными переменными

$$\frac{d\beta_p}{\beta_p} = \frac{dh}{h}.$$

Его решение очевидно и может быть записано сразу

$$\frac{\beta_p}{h} = \psi_1, \qquad (7)$$

где ψ_1 – постоянная интегрирования.

Второе обычное дифференциальное уравнение образуется в результате комбинации первого и второго уравнения системы (6) и после разделения переменных принимает вид

$$\frac{d\beta_p}{\beta_p{}^4} = \frac{4\cdot k\cdot A_\partial\cdot Q_{pn}{}^4}{B_p{}^4\cdot h^{5,5}}\cdot dt. \qquad (8)$$

Интегрирование уравнения (8) также не вызывает труда и его решение записывается следующим образом

$$\frac{1}{3\cdot \beta_p{}^3} + \frac{4\cdot k\cdot A_\partial\cdot \Gamma}{B_p{}^4\cdot h^{5,5}} = \psi_2, \qquad (9)$$

где ψ_2 – постоянная интегрирования;

$\Gamma = \int Q_{pn}{}^{4} dt$ – интегральная функция гидрографа.

В отличие от обычных дифференциальных уравнений, для которых общее решение полностью определяется неизвестной постоянной величиной, общее решение дифференциальных уравнений с частичными производными являет собой неопределенную функцию Ф от интегралов (7) и (9). Таким образом, общее решение квазилинейного уравнения (6) будет

$$\Phi\left(\frac{\beta_p}{h}; \frac{1}{3\cdot\beta_p{}^{3}} + \frac{4\cdot k\cdot A_{\partial}\cdot\Gamma}{B_p{}^{4}\cdot h^{5,5}}\right) = 0 \cdot \quad (10)$$

Из бесчисленного количества решений, которые описывают функцией Ф, нужно найти единственное, которое удовлетворяет начальным условиям, то есть решить задачу Коши.

Для получения частного решения, необходимо интегралы (7) и (9) записать относительно начального момента $t_0 = 0$. То есть всем членам, явно зависимым от времени t, придать значения, которые они должны иметь в начальный момент. Такой величиной является только бытовой русловой расход воды Q_{pn}. В начальный момент развития русловых деформаций при $t_0 = 0$ интегральная функция гидрографа $\Gamma = \int Q_{pn}{}^{4} dt = 0$. Тогда будем иметь:

$$\frac{\beta_p}{h} = \overline{\psi}_1, \quad (11)$$

$$\frac{1}{3\cdot\beta_p{}^{3}} = \overline{\psi}_2, \quad (12)$$

где $\overline{\psi}_1, \overline{\psi}_2$ – значения интегралов в начальный момент времени.

Полученные зависимости необходимо записать в явном виде относительно искомой функции h и независимой переменной β_p:

$$\beta_p = \left[3\cdot\overline{\psi}_1\right]^{-\frac{1}{3}}, \quad (13)$$

$$h = \overline{\psi}_1 \cdot \left[3\cdot\overline{\psi}_2\right]^{-\frac{1}{3}} \cdot \quad (14)$$

Верхней границе общего размыва отвечают условия, при которых расчетный паводок будет проходить первым по неразмытому дну. Поэтому начальные условия в этом случае формируются следующим образом: $h = h_{pn}$, где h_{pn} – бытовая глубина в русле, которая зависит только от времени и принимает значение согласно водомерного графика паводка. В связи с этим, решение задачи Коши принимает вид

$$\overline{\psi}_1{}^{-1} \cdot \left[3\cdot\overline{\psi}_2\right]^{-\frac{1}{3}} = h_{pn}, \quad (15)$$

которое, после замены интегралов $\overline{\psi}_1$ и $\overline{\psi}_2$ их общими решениями (7) и (9), выражается зависимостью

$$\frac{h}{\beta_p \cdot \left[\dfrac{1}{\beta_p{}^3} + \dfrac{3 \cdot 4 \cdot k \cdot A_\partial \cdot \Gamma}{B_p{}^4 \cdot h^{5,5}}\right]} = h_{pn} \cdot \qquad (16)$$

В результате обычных превращений приходим к конечному выражению глубины остаточного размыва:

$$h = h_{pn} \cdot \left[1 + \frac{12 \cdot k \cdot A_\partial \cdot \Gamma \cdot \beta_p{}^3}{B_p{}^4 \cdot h^{5,5}}\right]^{\frac{1}{3}}. \qquad (17)$$

Зависимость (17) является неявной и справедлива лишь при линейной характеристике трансформации руслового расхода, что соответствует остаточному размыву.

Таким образом, осуществлена аналитическая реализация математической модели для определения остаточного размыва с применением линейной характеристики трансформации руслового расхода.

Библиографический список

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

2. Бегам Л.Г., Лиштван Л.Л., Муромов В.С. Деформации подмостовых русел. – М.: Транспорт, 1970. – 200 с.

УДК 656:658.286

УЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВАРИЙНОСТИ ПРИ РАЗВИТИИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РЕГИОНЕ

Копылова О.А., Осинцев Н.А., Несват К.К.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова» (МГТУ),
455000, г. Магнитогорск, пр-т Ленина, 38,
кафедра «Промышленный транспорт», osintsev@logintra.ru

Аннотация

В статье проанализированы дорожно-транспортные происшествия, произошедшие на федеральных и региональных трассах. Предложена группировка регионов по приоритету развития и модернизации транспортной инфраструктуры с целью повышения безопасности дорожного комплекса с учетом темпов автомобилизации населения, существующего уровня развития дорожной сети, объемов грузовых перевозок автомобильным транспортом.