

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИИ ДНА МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ГОРНЫХ РЕК

Г.И. Карапетян<sup>1</sup>, П.О. Балджян<sup>1</sup>, А.С. Седракян<sup>2</sup>

1. Государственный инженерный университет Армении (Политехник)

2. Национальный университет архитектуры и строительства Армении

Разработан метод прогнозирования возможных деформаций дна русла на участке мостовых переходов горных рек с использованием универсальной теории стабилизированного руслообразующего процесса, переходящего в стабилизированную, уравновешенную стадию. Предлагаемые расчетные зависимости позволяют на фоне изменения наносного режима водостока и его русловых характеристик спрогнозировать возможные деформации дна русла на участке мостового перехода, а также определить другие гидродинамические параметры стабилизированного руслообразования. Полученные результаты дают возможность при проектировании мостовых сооружений достаточно надежно установить отметки основания опор и защитных дамб.

**Ключевые слова:** мостовой переход, размыв русла, наносы, прогноз деформации.

**Введение.** Для обеспечения надежной работы мостовых опор и переходной части защищающих дамб очень важно правильно спрогнозировать возможные деформации дна русла по длине мостового перехода. Существующие методы, в том числе численные решения, имеют ряд серьезных недостатков, связанных с выбором правильных краевых условий, соответствующей формулы расчета расхода наносов и т.д. Целью работы является разработка метода прогнозирования возможных русловых деформаций на участке мостовых переходов через горные реки. При этом используется универсальная теория стабилизированного руслообразующего процесса.

**Методы исследования.** В работах [1,2] и др. проанализированы методы и формулы по определению параметров руслового размыва у мостовых опор и переходов. Отмечены и оценены основные недостатки существующих предложений, указаны задачи последующих исследований.

Нами была предложена универсальная теория руслообразующих процессов, переходящих в стабилизированную, уравновешенную стадию [3]. Эта теория достаточно хорошо описывает также гидродинамические процессы, происходящие на участках рек, где установлены мостовые переходы.

Поскольку в естественно-стабилизированном участке реки русло сужается мостовыми опорами и защищающими их переходными дамбами, то скорость потока искусственно увеличивается. Из-за этого начинается процесс размыва русла и унос грунта. Со временем на участке мостового перехода глубина потока увеличивается, а скорость уменьшается. В течение какого-то периода начавшийся процесс размыва практически прекращается, и русло на этом участке приобретает стабилизированную новую форму. Естественно, восстанавливается также баланс наносов. Ниже приводятся результаты разработок, которые позволяют на горных реках прогнозировать величины русловых деформаций по длине мостовых переходов заданного планового очертания.

**Результаты исследования.** В русле реки с шириной  $B_p$  и уклоном дна  $i_p$  установлены мостовые опоры и защитные дамбы. Ширина мостового перехода на створе опор составляет  $b_M < B_p$  (рис. 1 и 2). Обычно сопряжение естественного русла с мостовым отверстием шириной  $b_M$  осуществляется кривой, обеспечивающей плавно изменяющийся характер потока.

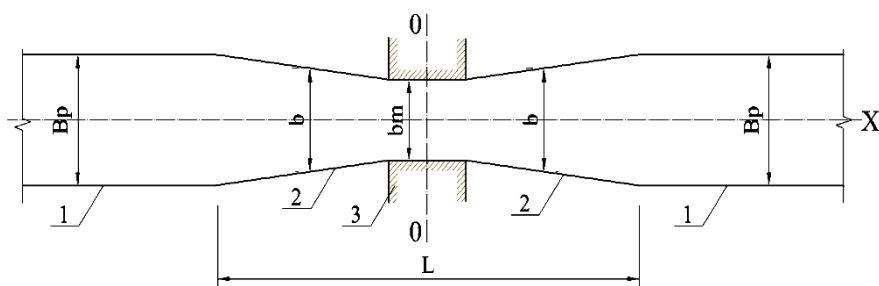


Рис. 1. Плановое очертание мостового перехода:  
1 – естественное русло, 2 - мостовой переход, 3 – опоры моста

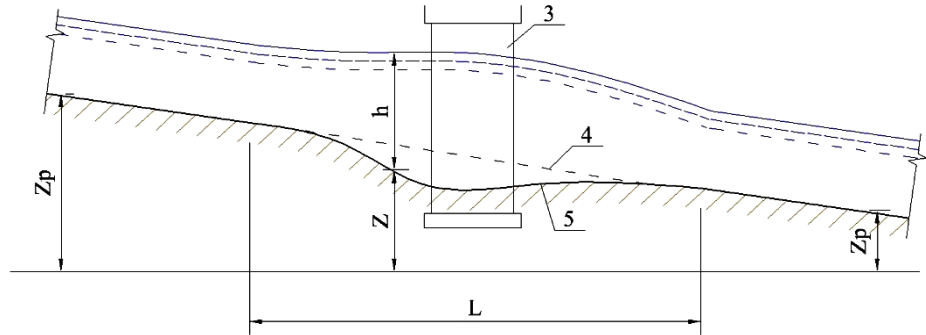


Рис. 2. Продольный профиль мостового перехода после завершения размыва:  
 3 – мостовые опоры, 4 – дно русла до размыва, 5 – дно русла после стабилизации

В разработках использованы безразмерные параметры, линейным масштабом которых принята ширина предельного участка данного водостока  $b_0$  [2]. Согласно работе В.Г. Санояна [4], изменение переменной ширины мостового перехода  $b$  (рис. 1) достаточно хорошо можно представить гиперболической зависимостью. Авторами проведены некоторые необходимые изменения этой функции, которая представлена в следующем виде:

$$\bar{b} = \varepsilon \left( 1 - \frac{1 - \mu}{chc\bar{x}} \right), \quad (1)$$

где  $\mu$  - соотношение, показывающее степень сужения русла,  $b_m/B_p < 1$ ;  $\varepsilon$  - соотношение  $B_p/b_0$  которое может быть больше или меньше;  $\bar{b}$  - безразмерная ширина мостового перехода,  $\bar{b} = b/b_a$ ;  $\bar{x}$  - безразмерная координата данного створа,  $\bar{x} = x/b_0$  (за начало координаты  $\bar{x}$  принят створ мостовых опор, а ее положительное направление вниз по течению, рис. 1).

Уравнение (1) удовлетворяет крайним условиям задачи: при  $\bar{x} = 0$  имеем  $\bar{b} = \mu\varepsilon$  или  $\bar{b} = b_m$  при  $\bar{x} \rightarrow \pm\infty$  -  $\bar{b} = \varepsilon$  или  $b = B_p$ .

Как уже отмечалось, для моделирования процесса руслового размыва в мостовом переходе можно использовать уравнение, полученное для стабилизированного периода руслообразования, которое в безразмерных величинах имеет следующий вид:

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0 A^3} \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{d}_{or}^{1/3} \bar{A}^{(4a-10)/3}, \quad (2)$$

где  $\bar{z} = \frac{z}{b_0}$  – координата искомой поверхности дна на переходном участке русла (рис. 2);  $\bar{A}$  – площадь живого сечения потока на данном стабилизированном участке.

Для интегрирования уравнения (2) необходимо иметь новые закономерности, связывающие неизвестные параметры  $\bar{z}$ ,  $\bar{h}$  и  $\bar{A}$ . Этот вопрос можно решить, если форма поперечного сечения русла известна. Для более общего случая принимаем трапециевидную форму поперечного сечения. Тогда

$$\bar{A} = (\bar{b} + m\bar{h})\bar{h} \frac{\beta_0^2}{\beta_0 + m}, \quad (3)$$

$$\bar{X} = \left( \bar{b} + 2\bar{h}\sqrt{1+m^2} \right) \frac{\beta_0}{\beta_0 + 2\sqrt{1+m^2}}. \quad (4)$$

При условии соблюдения баланса наносов П.О. Балджяном выведена обобщенная связь между площадью живого сечения и смоченным периметром [5]:

$$\bar{X} = \bar{A}^a. \quad (5)$$

Совместное решение выражений (3), (4) и (5) дает возможность получить функциональные зависимости  $\bar{h} = f(\bar{A})$  и  $\bar{A} = f(\bar{A}, \bar{b})$ . Дифференцируя зависимость  $\bar{h} = f(\bar{A})$  и подставляя ее в уравнение (2), получим

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + f(\bar{A}) \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0 A^3} \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{d}_{cr}^{1/3} \bar{A}^{(4a-10)/3}. \quad (6)$$

Имея в виду, что закономерность изменения ширины  $\bar{b}$  представлена функцией (1), величина  $\bar{A}$  согласно выражениям (3) и (4) в зависимости от координаты  $\bar{x}$  также становится известной. После некоторых преобразований относительно параметра  $\bar{z}$  получим обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = f(\bar{A}, \bar{b}), \quad (7)$$

где  $f(\bar{A}, \bar{b})$  - известная функция, определяемая в зависимости от  $\bar{x}$ .

Интегрирование этого уравнения дает возможность на каждом створе мостового перехода определить координаты дна нового русла, образованного после завершения процесса размыва. Естественно, в ходе интегрирования необходимо правильно установить граничные условия. Из рис. 1 и 2 видно, что слева  $\left(-x = \frac{L}{2}\right)$  и справа  $\left(+x = \frac{L}{2}\right)$  (где  $L$  - длина мостового перехода) от сечения русловой размыв не распространяется, и координата  $z$  соответствует координате естественного дна русла  $z_p$ , т.е.  $z - z_p = 0$ . Глубина максимального размыва  $\Delta z$  наблюдается около мостовых опор:  $\Delta z_{\max} = z_p - z_{\min}$ .

**Заключение.** Предлагаемые расчетные зависимости позволяют на фоне изменения наносного режима и русловых характеристик водостока прогнозировать возможные деформации дна русла в пределах мостового перехода и определить другие гидродинамические параметры стабилизированного руслообразования. Полученные результаты дают возможность при проектировании мостовых сооружений достаточно надежно установить глубину заложения основания опор и защитных дамб.

### Литература

1. Федотов Г.А. Расчет мостовых переходов с применением ЭЦВМ. – М.: Транспорт, 1977. – 208 с.
2. Балджян П.О. Разработка методов расчета противоселевых сооружений и проблемы эксплуатации: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Ереван, 2009. – 39 с.
3. Балджян П.О., Карапетян Г.И. Теоретические основы решения задач руслообразования // Сборник научных трудов годичной научной конференции ГИУА. - Ереван, 2000. - С. 465 - 466.
4. Саноян В.Г. Методические рекомендации по гидравлическому расчету селезадерживающих сооружений // Утверждены Техсоветом Минводхоза АрмССР (протокол N.5 от 30 декабря 1986г.) и Госстроем Республики (протокол N. 24 от 12 ноября 1987г.). – Ереван, 1987.- 12с.
5. Балджян П.О. Определение зависимости между гидравлическими параметрами потоков при постоянстве их наносонесущей способности // Известия НАН РА и ГИУА. Серия ТН. – 2005. – Т. 58, №. 2. - С. 380 - 385.

*Поступила в редакцию 03.11.2014.  
Принята к опубликованию 23.12.2014.*

**ԼԵՌՆԱՅԻՆ ԳԵՏԵՐԻ ԿԱՄՐՁԱՅԻՆ ԱՆՑՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՏԱԿԻ  
ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՎԵՐԼՈՒԾԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴ**

**Հ.Ի. Կարապետյան, Պ.Հ. Բալջյան, Ա.Ս. Սեդրակյան**

Կամրջային կառուցվածքների շահագործման անվտանգությունն ապահովելու համար շատ կարևոր է ճիշտ կանխատեսել կամրջային անցումի երկարությամբ հունի հնարավոր դեֆորմացիաները: Գոյություն ունեցող մեթոդները, ներառյալ ծրագրային լուծումները, ունեն մի շարք թերություններ՝ կապված եզրային պայմանների, ջրաբերուկների ելքի որոշման բանաձևի ընտրության հետ և այլն: Մշակվել է լեռնային գետերի կամրջային անցումների տեղամասում հունի հատակի դեֆորմացիայի կանխատեսման մեթոդ: Մշակումներում կիրառվել է կայունացված հունակազմական պրոցեսի համապիտանի տեսությունը: Առաջարկվող հաշվարկային բանաձևերը հնարավորություն են տալիս ջրատարի ջրաբերուկային ռեժիմի և դրա հունային բնութագրերի փոփոխության դեպքում կանխատեսել կամրջային անցման տեղամասում հունի հատակի հնարավոր դեֆորմացիաները և որոշել կայունացված հունակազմության հիդրոդինամիկական մյուս պարամետրերը: Ստացված արդյունքները հնարավորություն են տալիս կամրջային կառուցվածքների նախագծման դեպքում բավականին հուսալիորեն որոշել հենարանների և պաշտպանիչ դամբանների հիմքերի նիշերը:

**Առանցքային բառեր.** կամրջային անցում, հունի ողողում, ջրաբերուկներ, դեֆորմացիայի կանխատեսում:

**AN ANALYTICAL METHOD FOR CALCULATING THE DEFORMATION OF THE  
BRIDGE CROSSING BOTTOM OF MOUNTAIN RIVERS**

**H.I. Karapetyan, P.H. Baljyan, A.S. Sedrakyan**

A method for predicting the possible deformations of the bed bottom at the bridge crossings of mountain rivers is developed by using the universal theory of the bed formation process passing onto a stabilized balanced stage. On the background of the changes of the alluvial regime of culvert, the proposed design formulae allow to predict the possible deformations of the bridge crossing bottom and determine other hydrodynamic parameters of stabilized bed formation. While designing bridge structures, the obtained results allow to reliably establish the location of the support basis and the protective dams.

**Keywords:** bridge crossing, bed washout, sediments, deformation forecast.