

УДК 665.6/7;627.556.013

ИССЛЕДОВАНИЕ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УЧАСТКАХ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ГЕОРЕСУРСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Саруханян Арестак Арамаисович¹,
asarukhanyan51@mail.ru

Балджян Паргев Оганесович²,
baljyan-51@list.ru

¹ Национальный университет архитектуры и строительства Армении,
Армения, 009, г. Ереван, ул. Теряна, 105

² Национальный политехнический университет Армении,
Армения, 009, г. Ереван, ул. Теряна, 105.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью достижения бесперебойности и надежности работ систем, связанных с транспортировкой георесурсов. Важной составляющей инженерных сооружений этих систем являются мостовые переходы. На водотоках горной зоны эти переходы часто выполняются однопролетными. На участках перехода для установления опор моста ширина реки сужается, что приводит к развитию процесса размыва грунта дна. Отметка подошвы опоры и условий ее безаварийной работы главным образом зависит от точности определения максимальной величины размыва дна реки. Для водотоков горно-предгорной зоны эта задача недостаточно изучена. С этой точки зрения рассматриваемая задача имеет актуальное значение, и ее решение представляет важное научно-практическое значение.

Целью работы является моделирование процесса русловых преобразований на участке мостового перехода на реках горно-предгорной зоны и разработка метода расчета по определению деформации дна в переходном участке.

Объектами исследования являются исходные параметры потока и русловые характеристики водотоков горно-предгорной зоны, гидродинамические процессы, происходящие на участке мостового перехода, краевые условия задачи и форма поперечного сечения русла.

Методы. В результате анализа существующих работ оценено нынешнее состояние поставленной задачи и отмечены пути развития; проведено физическое и теоретическое моделирование процесса русловых преобразований на участке мостового перехода; определены краевые и граничные условия для различных конструктивных решений этих переходов; разработан способ гидравлического расчета русловых преобразований мостового перехода на водотоках горно-предгорной зоны; для оценки разработанного метода сопоставлены результаты численного примера с данными экспериментов.

Результаты. Представлена физическая модель завершающей устойчивой стадии русловых преобразований на участке мостового перехода. Выявлены гидрологические, гидравлические и русловые параметры, являющиеся исходными при решении задачи. С учетом уравнений энергии, неразрывности потока и баланса наносов составлена математическая модель движения неравномерного потока в условиях преобразованного дна переходного участка. При этом поставленная задача преследует цель установить такое положение дна мостового перехода, в условиях которого процесс размыва русла будет завершен и восстановлено стационарное состояние движения. В разработках установлены краевые и граничные условия задачи. Используются также зависимости поперечной формы русла и формула Шези. В результате совместных решений указанных выражений разработан расчетный метод установления положения стабилизированного дна на переходном участке реки и гидравлических параметров потока. Представлен численный пример расчета по определению координат стабилизированного дна и свободной поверхности в мостовом переходе. Дана оценка полученных результатов расчета. Сделано заключение о возможности использования предложенного метода для расчета параметров переходных участков горно-предгорных рек.

Ключевые слова:

Река, транспортировка георесурсов, мостовой переход, деформация дна, русло, мостовые опоры.

Введение

Безаварийная транспортировка георесурсов является одним из важных компонентов их комплексного эффективного использования, переработки и безопасного распределения. При этом определенный интерес представляет обеспечение бесперебойных и надежных условий работы инженерных коммуникационных систем и путей сообщения при транспортировке георесурсов. Эти коммуникационные системы и пути более часто пересекают горные реки и другие рельефные преграды, для чего устанавливают мостовые переходы или другие искусственные сооружения. Геологические условия, русловые и гранулометрические параметры водотоков горной зоны весьма разнообразны. Эти характеристики сильно меняются также

вдоль реки. Кроме того, значительные колебания намечаются между сезонными расходами реки. В указанных условиях очень сложно установить общеприемлемые связи по определению параметров рек горно-предгорной зоны. Этим объясняется большое расхождение между расчетными и натурными данными этих потоков [1–3]. Гидродинамические явления, происходящие на участках речных сооружений, расположенных на небольших горных реках, мало изучены и интерпретированы. Указанные выше обстоятельства негативно влияют на точность разработанных расчетных методов речных сооружений. В качестве примеров следует указать: неправильное определение регулирующего объема в малых и средних водохранилищах [4], установление конечной поверхно-

сти накопленных перед селезащитной дамбой наносов [5, 6], прогнозирование деформаций естественно-го русла в мостовых переходах малых рек [7, 8] и т. д. Решения некоторых проблем, встречающихся в приведенных выше примерах либо отсутствуют, либо являются неполными. Успешное решение различных задач по русловым процессам обусловлено правильной оценкой ряда факторов, имеющих определяющее влияние на данный процесс. Следует отметить исследование по определению расхода наносов или наносонесущей способности потока и скорости отрыва частиц грунта, составляющих дно русла. Важным фактором является также правильное определение граничных условий исследуемой задачи.

Ряд исследований был проведен для определения русловых изменений в мостовых переходах. Подобные гидродинамические задачи достаточно успешно изучены и решены для различных условий равнинных рек [9–11]. На основе этих разработок получены различные модели прогнозирования параметров размыва у мостовых опор и по длине мостового перехода [12–14]. Для речных потоков горно-предгорных районов такие исследования довольно неполные. Основные причины отсутствия таких исследований упомянуты выше. Статистика разруше-

ния мостов, сооруженных на этих реках, показывает, что главной причиной аварий является размыв фундамента мостовых опор, обусловленный неправильным установлением глубины размыва подстилки подмостового русла. Наглядный пример разрушения мостовой опоры показан на рис. 1, где причиной разрушения мостовой опоры стал неправильно устроенный размыв грунта ее подошвы.

В ходе изменения гидродинамических параметров речного потока по всей длине мостового перехода происходит сложный процесс массообмена твердой фазы потока. С увеличением скоростей на переходном участке транспортирующая способность потока увеличивается. Начинаются смыв и унос грунта дна русла. Со временем глубина на этом участке увеличивается, скорости уменьшаются, и начатый процесс размыва затухает. По длине русла восстанавливаются баланс наносов и стационарность движения. В результате указанных преобразований в мостовом переходе устанавливаются новые устойчивые условия как для русла, так и для движения потока. С теоретической и особенно с практической точек зрения большой интерес представляет прогнозирование параметров, характеризующих конечный результат русловых преобразований.



Рис. 1. Разрушенная опора моста: а) вид с верхнего бьефа; б) вид с нижнего бьефа
Fig. 1. Destroyed support of the bridge: а) view from upstream; б) view from downstream

Постановка задачи

Конструктивные решения по укреплению мостовых опор, построенных на указанных водотоках, обычно реализуются или построением береговых защитных дамб, или без дамб. В данной работе сделана попытка разработать математическую модель для описания происходящих гидродинамических процессов на участке мостового перехода горных рек при прохождении паводкового потока. С этой целью предлагается метод расчета деформаций подмостового русла и соответствующие параметры потока.

Предположим, что мостовой проход с отверстием b_m и длиной опор моста ℓ расположен в реке с шириной B_0 и уклоном i_0 (рис. 1). В случае, когда паводковый поток с расходом Q входит в мостовой переход, происходит изменение его гидродинамических параметров. Из-за резкого сужения ширины реки у мостовой опоры происходят волновые процессы, нарушается плавно-изменяющийся характер потока (рис. 2). Но вскоре в результате образования у опор мертвых зон восстанавливается режим плавно-изменяющегося движения. Одновременно в переходном участке русла начинается процесс размыва русла. Со временем глу-

бина потока по длине переходного участка увеличивается, а скорости уменьшаются. Начатый нестационарный процесс русловых преобразований постепенно затухает, и по длине русла восстанавливается стационарность движения. Прогноз конечного положения дна русла на переходном участке имеет важное значение для определения отметок подошвы опор моста и переходных сооружений.

Следовательно, расчетная схема потока, показанная на рис. 2, может быть заменена адекватной схемой (рис. 3, а), в которой имеются переходные участки, обеспечивающие плавно-изменяющийся характер потока. При этом на входном сужающемся участке мостового перехода длиной L ширина русла уменьшается от значения B_0 до ширины b_m . На участке мостовой опоры ширина русла остается постоянной, равной b_m , а на выходном русле расширяется от b_m до B_0 .

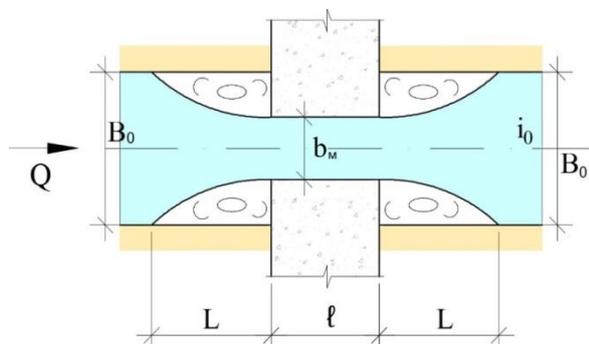


Рис. 2. Мостовой переход без боковых переходных дамб
 Fig. 2. Bridge crossing without side transition dams

Согласно плавно-изменяющемуся режиму движения угол расширения (сужения) боковых стенок переходных участков должен быть не больше $\alpha=8^\circ-10^\circ$ (рис. 3, а).

Анализ результатов

За начало координатной системы z, x примем начальную точку 0–0 мостового перехода (рис. 3, а, б). Мостовой переход разделен на три участка, в которых ширина русла определяется соответствующими закономерностями:

- в интервале

$$0 \leq x < L: b = B_0 - 2x \operatorname{tg} \alpha,$$

- в интервале

$$L \leq x \leq L + l: b = b_m; \quad (1)$$

- в интервале

$$L + l < x \leq 2L + l: b = b_m + 2x \operatorname{tg} \alpha.$$

Согласно рис. 3, а, длина переходных участков L до и после мостовых опор будет

$$L = \frac{B_0 - b_m}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad (2)$$

где α – угол наклона боковых стенок переходных участков (рис. 3, а, б).

Вышеописанная физическая модель исследуемого процесса позволяет взамен нестационарной сложной системы при моделировании использовать наиболее простую систему уравнений. В исследуемой задаче рассматривается конечная стационарная стадия движения, при которой установлен также количественный баланс твердого расхода. В различных задачах по размыву русел больших рек протекающие процессы часто описываются трехмерным моделированием [15]. Однако для горных водотоков, где глубина и ширина небольшие, неравномерное движение потока можно с достаточной точностью считать одномерным [16]. При указанных условиях в пределах мостового перехода имеют место основные уравнения наносонесущего потока:

- уравнение неустановившегося одномерного движения потока:

$$\frac{dz}{dx} + \frac{dh}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{V^2}{2g} \right) = \frac{V^2}{C^2 R}; \quad (3)$$

- уравнение неразрывности потока:

$$Q = AV = \operatorname{const}; \quad (4)$$

- уравнение баланса для твердых расходов:

$$Q_s = \operatorname{const} \text{ или } S = \operatorname{const}. \quad (5)$$

Для ряда формул по определению твердых расходов [17, 18] при соблюдении условия баланса твердого расхода (5) получено

$$\frac{\chi}{\chi_0} = \left(\frac{A}{A_0} \right)^3, \quad (6)$$

где χ – смоченный периметр; A – площадь живого сечения; параметры с индексом «0» относятся к живым сечениям естественного участка реки.

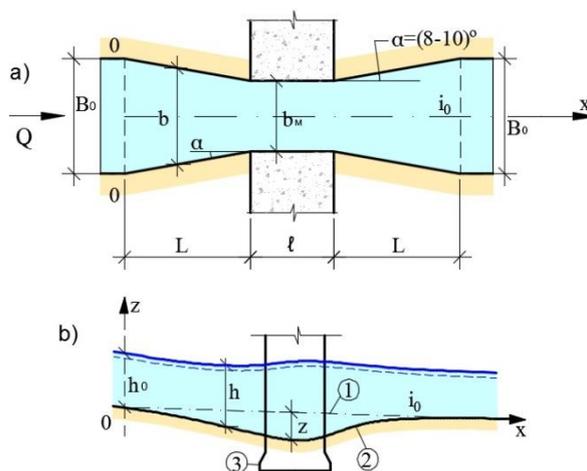


Рис. 3. План (а) и профиль (б) мостового перехода; 1 – естественное дно русла; 2 – стабилизированное дно русла; 3 – мостовые опоры

Fig. 3. Plan (a) and profile (b) of the bridge; 1 – natural bottom of the channel; 2 – stabilized bottom of the channel; 3 – bridge supports

Для интегрирования уравнения (3) с условиями (4) и (5), помимо граничных условий (1), необходимы дополнительные условия между параметрами h, V, R, C . В первую очередь следует задать форму поперечного живого сечения и гранулометрический состав естественного русла. В большинстве случаев форму поперечного сечения русла принимают прямоугольной. В этом случае будем иметь

$$A = bh, \quad (7)$$

$$\chi = b + 2h. \quad (8)$$

Из формулы (6) с учетом уравнения неразрывности потока (4) и соотношений (7) и (8) получена зависимость [19]

$$h = \frac{\varphi_0}{b^{\frac{2}{3}}}, \quad (9)$$

где φ_0 – параметр, определяемый по формуле (13). В практических расчетах его можно принимать равным $h_0 B_0^{\frac{2}{3}}$ [19].

Отметим, что полученная зависимость (9) имеет удовлетворительно точное совпадение с известными формулами [7, 20] по определению глубины потока в мостовых переходах. С учетом уравнения (9), получаем

$$A = bh = \varphi_0 b^{\frac{1}{3}}, \quad (10)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\varphi_0 b^{\frac{1}{3}}}, \quad (11)$$

$$R = \frac{A}{\chi} = \frac{b}{\beta + 2}. \quad (12)$$

В формулах (9)–(12) введены обозначения

$$\varphi_0 = \left(\frac{\beta + 2}{\beta_0 + 2} \cdot \frac{\beta_0}{\beta} \right)^{\frac{1}{3}} h_0 B_0^{\frac{2}{3}}, \quad (13)$$

где

$$\beta = \frac{b}{h}, \quad \beta_0 = \frac{B_0}{h_0}.$$

Согласно формуле (9), для соотношения $\beta = \frac{b}{h}$ получим зависимость

$$\beta = \frac{b^{\frac{5}{3}}}{\varphi_0}. \quad (14)$$

Доказано, что значение зависимости $\left(\frac{\beta + 2}{\beta_0 + 2} \cdot \frac{\beta_0}{\beta} \right)^{\frac{1}{3}}$ всегда близко к единице [19]. Следовательно, уравнение (13) можно переписать в виде

$$\varphi_0 = h_0 B_0^{\frac{2}{3}}. \quad (15)$$

Используя формулу Маннинга для коэффициента Шези C и с учетом полученных зависимостей (9), (11), (12), (14) для h, V, R, β из уравнения движения (3) получим

$$\frac{dz}{dx} - \frac{2}{3} b^{-\frac{5}{3}} \left(\varphi_0 + \frac{Q^2}{2g\varphi_0^2} \right) \frac{db}{dx} = \frac{Q^2 n^2 \left(\frac{b^{\frac{5}{3}}}{\varphi_0} + 2 \right)^{\frac{4}{3}}}{\varphi_0^2 b^2}. \quad (16)$$

Полученное уравнение для мостовых переходов, в зависимости от граничных условий, будет иметь три формы соответственно:

1. На суживающемся участке $0 \leq x \leq L$, согласно граничному условию (1), имеем $\frac{db}{dx} = -2 \operatorname{tg} \alpha$, вследствие чего уравнение деформации дна русла (16) примет вид

$$\frac{dz}{dx} + \frac{4}{3} b^{-\frac{5}{3}} \left(\varphi_0 + \frac{Q^2}{2g\varphi_0^2} \right) \operatorname{tg} \alpha = \frac{Q^2 n^2 \left(\frac{b^{\frac{5}{3}}}{\varphi_0} + 2 \right)^{\frac{4}{3}}}{\varphi_0^2 b^2}. \quad (17)$$

2. На участке постоянной ширины русла $L \leq x \leq L + \ell$ имеем $\frac{db}{dx} = 0$, и дифференциальное уравнение (16) примет вид

$$\frac{dz}{dx} = \frac{Q^2 n^2 \left(\frac{b^{\frac{5}{3}}}{\varphi_0} + 2 \right)^{\frac{4}{3}}}{\varphi_0^2 b^2}. \quad (18)$$

3. На расширяющемся участке $L + \ell < x \leq 2L + \ell$ имеем $\frac{db}{dx} = 2 \operatorname{tg} \alpha$, и уравнение (16) примет вид

$$\frac{dz}{dx} - \frac{4}{3} b^{-\frac{5}{3}} \left(\varphi_0 + \frac{Q^2}{2g\varphi_0^2} \right) \operatorname{tg} \alpha = \frac{Q^2 n^2 \left(\frac{b^{\frac{5}{3}}}{\varphi_0} + 2 \right)^{\frac{4}{3}}}{\varphi_0^2 b^2}. \quad (19)$$

Полученные расчетные уравнения позволяют для рек горной зоны прогнозировать деформации мостового перехода по его длине. Для проверки достоверности предложенного расчетного метода ниже приводится численный пример. Предположим, что на водосток с шириной $B_0 = 12$ м и продольным уклоном $i_0 = 0,01$ установлен мостовой переход шириной $b_m = 6$ м. Значение паводкового расхода равно $Q = 50$ м³/с, коэффициент шероховатости русла – $n = 0,035$. В указанных условиях, согласно гидравлическим расчетам, нормальная глубина потока будет $h_0 = 1,35$ м. Принимая угол наклона переходных участков равным 10° , из выражения (2) получим

$$L = \frac{B_0 - b_m}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{12 - 6}{2 \operatorname{tg} 10^\circ} = 17 \text{ м.}$$

При значении $h_0 = 1,35$ м по формуле (15) имеем

$$\varphi_0 = h_0 B_0^{2/3} = 1,35 \cdot 12^{2/3} = 7,13.$$

На основе значений исходных параметров для каждого участка перехода приводится численное решение по соответствующим дифференциальным уравнениям. Наряду с координатой деформации русла рассчитаны также глубины потока. В частности, на входном участке ($0 \leq x \leq 17$) имеем $b = 12 - 2x \operatorname{tg} 10^\circ$. Зна-

чения координаты z рассчитаны по уравнению (17), а глубины h – по зависимости (9). Результаты приведены в табл. 1.

На участке мостовых опор ($17 \leq x \leq 27$), имеем $b = b_m = 6$ м. Координаты рассчитаны по уравнению (18), а глубины – по зависимости (9). Результаты приведены в табл. 2.

На выходном участке ($27 \leq x \leq 44$) имеем $b = 6 + 2x \operatorname{tg} 10^\circ$.

Расчетными уравнениями являются (19) и (9). Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 1. Расчетные значения деформации, ширины и глубины потока на входном участке мостового перехода

Table 1. Calculated values of deformation, width and depth of flow at the inlet section of the bridge passage

X (м)	0	2	4	6	8	10	13	16	17
b (м)	12	11,29	10,59	9,88	9,17	8,47	7,41	6,35	6,00
Z (м)	0	-0,055	-0,119	-0,19	-0,27	-0,37	-0,56	-0,79	-0,89
h (м)	1,35	1,41	1,48	1,55	1,62	1,71	1,88	2,08	2,16

Таблица 2. Расчетные значения деформации, ширины и глубины потока на участке мостовых опор

Table 2. Calculated values of deformation, width and depth of the stream at the site of bridge supports

X (м)	17	19	21	23	25	27
b (м)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Z (м)	-0,89	-0,86	-0,83	-0,81	-0,78	-0,75
h (м)	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16

Таблица 3. Расчетные значения деформации, ширины и глубины потока на выходном участке мостового перехода

Table 3. Calculated values of deformation, width and depth of flow at the exit section of the bridge passage

X (м)	27	29	31	33	35	37	40	42	44
b (м)	6,00	6,71	7,41	8,12	8,82	9,53	10,58	11,29	12,00
Z (м)	-0,75	-0,52	-0,32	-0,15	0,005	0,14	0,32	0,47	0,52
h (м)	2,16	2,00	1,92	1,76	1,67	1,58	1,48	1,42	1,35

На основе данных табл. 1–3 по длине мостового перехода построены кривые размытого дна русла и свободной поверхности потока (рис. 4).

Анализ данных, приведенных в табл. 1–3, показывает, что максимальная величина размыва дна фикси-

руется у входа опор моста (0,89 м), а глубина потока принимает максимальное значение по длине мостовых опор (2,16 м). Эти результаты по форме изменения соответствуют лабораторно-экспериментальным данным [21].

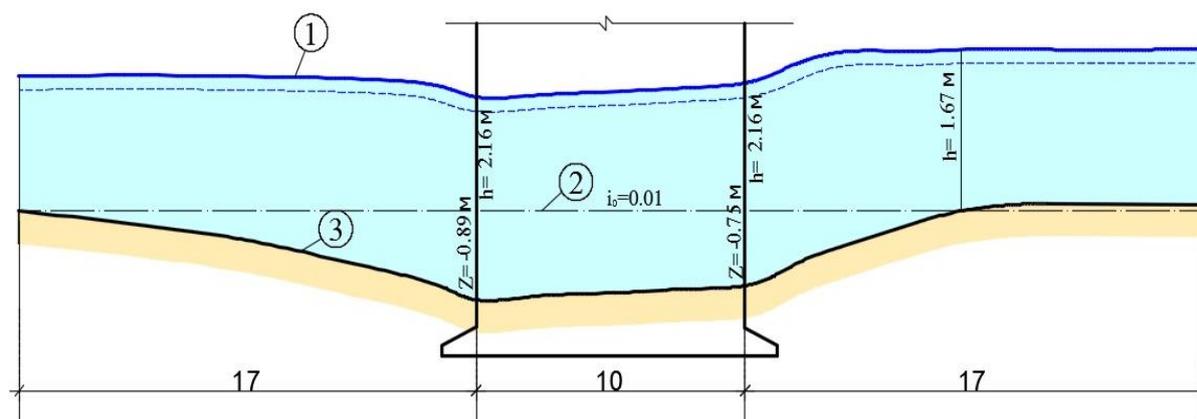


Рис. 4. Расчетные кривые в мостовом переходе: 1 – уровень свободной поверхности потока; 2 – естественный уровень дна реки; 3 – стабилизированная поверхность дна

Fig. 4. Theoretical curves in the bridge crossing section: 1 – level of the stream free surface; 2 – natural level of the riverbed; 3 – stabilized bottom surface

Заключение

В разработанном методе учтены все основные факторы, обуславливающие процесс русловых преоб-

разований в мостовых переходах рек горной зоны. Предлагаемый метод прогнозирования вертикальных русловых деформаций позволяет определить форму и

координаты стабилизированного дна реки и выбрать отметку подошвы фундамента сооружений. Анализ расчетных данных, полученных предложенным методом по формам деформированного дна мостового перехода и кривой свободной поверхности, показывает

хорошее совпадение с аналогичными результатами, полученными лабораторными экспериментами. Данный метод может быть использован также в тех задачах, где изменения геометрических параметров водотока приводят к руслодеформируемым процессам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rysin I., Petukhova L. Monitoring of channel processes on the interfluvium between the Kama and the Vyatka rivers // *Sediment Transfer through the Fluvial System. Proc. of the International Symposium*. – Moscow: IAHS Publ., 2004. – V. 288. – P. 261–268.
2. Dey S. *Fluvial hydrodynamics: hydrodynamic and sediment transport phenomena*. – Berlin, Germany: Springer, 2014. – 667 p.
3. Балджян В.П. К методу расчета гидроморфометрических параметров русел рек // *Сб. научных трудов Института водного хозяйства Грузинского технического университета*. – 2018. – № 73. – С. 9–16.
4. Tackling reservoir siltation by controlled sediment flushing: impact on downstream fauna and related management issues / P. Espa, R.J. Batalla, M.L. Brignoli et al. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218822> (дата обращения 15.03.2021).
5. Защита народнохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков: Материалы Международной конференции по селям. – Пятигорск, 2004. – Вып. 2. – 175 с.
6. Балджян Р.О., Балджян В.П. Руслоформирующие явления у селезащитных сооружений. Методы расчета их параметров. – Молдова: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. – 57 с.
7. Monitoring of river channel morphodynamical changes in the zone of bridge piers / N. Kuspilić, D. Bekić, G. Gilja, E. McKeogh // *Materials I International Conference on Road and Rail Infrastructure*. – Opatija, Croatia, 2010.
8. Tokmajyan V.H., Baljyan V.P., Babayan G.R. Possible gradelines of channel transformations // *Modern Problems of Water Management, Architecture and Construction: Collected Papers IX Intern. Scientific and Technical Confer.* – Tbilisi, 22–27 July, 2019. – P. 28–32.
9. Van Rijn L.C. *Sediment transport by currents and waves: the handbook*. – Netherlands: Delft Hydraulics Laboratory, 1989. – 343 p.
10. Dey S. Experimental study on incipient motion of sediment particles on generalized sloping fluvial beds // *International Journal of Sediment Research*. – 2001. – V. 16. – P. 391–398.
11. Клавен А.Б., Копалиани З.Д. Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и русловых процессов. – СПб.: Изд-во «Нестор-История», 2011. – 504 с.
12. Sumer B.M. Mathematical modelling of scour: a review // *Journal of Hydraulic Research*. 2007. – V. 45. – P. 723–735.
13. Melville B.W. The physics of local scour at bridge piers // *4th International Conference on Scour and Erosion*. – Tokyo, Japan, November 5–7, 2008. – P. 28–40.
14. Equilibrium scour depths around piles in noncohesive sediments under currents and waves / U.C. Zanke, T.W. Hsu, A. Roland, O. Link, R. Diab // *Coastal Engineering*. – 2011. – V. 58. – P. 986–991.
15. 3D numerical simulation of scouring around bridge piers (case study: bridge 524 crosses the Tanana river) / T. Esmaili, A.A. Dehghani, A.R. Zahiri, K. Suzuki // *World Academy of Science, Engineering and Technology*. – 2009. – V. 58. – P. 1028–1032.
16. Tokmajyan H.V., Baljyan P.H., Sarukhanyan A.A. Boundaries of applicability of liquids flow regularities for mud flows // *Floods and modern methods of control measures: International Symposium*. – Tbilisi, 2009. – P. 492–494.
17. Поздняков Ш.Р., Шмакова М.В. Сравнительный анализ формул расхода влекомых наносов на примере реки Ала-арча // *Экосистемы малых рек: экология, охрана: Матер. 2-й Всероссийской школы-конференции*. – Борок, 2014. – Т. 2. – С. 320–323.
18. Мамедов Дж.Г. Методика расчета наибольших расходов взвешенных наносов грязевых селей // *Известия РАН. Серия Географическая*. – 2019. – № 3. – С. 98–104.
19. Baljyan P.H., Madatyan G.G., Kelejian H.G. Calculation of parameters of the channel erosion in transition sites of the mountain river zone // *Bulletin of High Technology*. – 2017. – V. 2 (4). – P. 3–9.
20. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов. – М.: Транспорт, 1980. – 215 с.
21. Бададжян Г.С., Балджян П.О. К экспериментальному исследованию русловых деформаций мостовых переходов через горные реки // *Тезисы докладов IV н/т конференции по водному хозяйству*. – Ереван, 1982. – С. 26–28.

Поступила 12.04.2021 г.

Информация об авторах

Саруханян А.А., доктор технических наук, профессор кафедры гидравлики Национального университета архитектуры и строительства Армении.

Балджян П.О., доктор технических наук, профессор кафедры транспортных средств Национального политехнического университета Армении.

UDC 665.6/7;627.556.013

STUDY OF CHANNEL DEFORMATION AT BRIDGE CROSSING SECTIONS OF GEORESOURCES TRANSPORTATION SYSTEMS

Arestak A. Sarukhanyan¹,
assarukhanyan@mail.ru

Pargev O. Baldjyan¹,
baljyan-51@list.ru

¹ National University of Architecture and Construction of Armenia,
105, Teryan street, Yerevan, 009, Armenia.

² National Polytechnic University of Armenia,
105, Teryan street, Yerevan, 009, Armenia.

The relevance of the study is conditioned by the necessity of achieving an uninterrupted and reliable operation of systems associated with the transportation of georesources. An important component of the engineering structures of these systems are bridge crossings. On the streams of the mountain zone, these crossings are often performed single-span. In the transition sections for establishing the bridge supports, the width of the river narrows, which leads to erosion of the bottom soil. The mark of the sole of the support and the very conditions of its long-term operation, depends on the accuracy of determining the maximum amount of erosion of the bottom of the river. From this point of view the problem under consideration is topical and will follow a solution that is of important practical value.

The main aim of the work is modelling of channel transformations processes running at bridge crossing sections in mountain foothill zones and developing a calculation method for determining riverbeds deformations.

The objects of the present study are initial parameters of the stream and channel characteristics of waterways in mountain foothill zones, hydrodynamic processes occurring at the bridge crossing section in rivers of a mountain foothill zone; channel deformations of the bottom; boundary conditions of the problem and the shape of the cross section of the channel.

Methods. As a result of a relatively complete analysis of existing works the current state of the set problem has been assessed and the ways of development were marked; physical and theoretical modeling of the channel transformation at the bridge crossing area was performed; boundary conditions for various structural solutions of bridge crossings were determined; a method for hydraulic calculation of channel transformations at bridge crossings was developed for streams of mountain-foothills; numerical example was calculated according to the developed methods and the obtained results were analysed.

Results. The paper introduces the physical model of the final stable stage of channel transformations at the bridge crossing section. The hydrological, hydraulic and channel parameters that are initial in solving the problem are identified. A mathematical model of nonuniform flow motion in the conditions of the transformed river bottom of the transition section was compiled taking into consideration equations of energy, continuity of flow and sediment balance. At the same time, the problem in view is aimed at establishing such a position of the bridge crossing bottom when the channel erosion will come to the end and the steady-state flow – restored. In elaborations boundary and boundary conditions of the problem were established. Dependences of the transverse form of the channel and the Shezy formula were also used. As a result of joint solutions of the above expressions a calculation method was developed to establish the position of the stabilized bottom on the transitional section of the river and hydraulic parameters of the flow. A numerical example of calculation made for determining the coordinates of the stabilized bottom and free surface in a bridge crossing is presented. The estimation of calculation results is given. The authors have made a conclusion on possibility of using the proposed method in calculations of parameters of transitional sections of mountain-foothill rivers.

Key words:

River, transportation of georesources, bridge crossing, bottom deformation, channel, bridge supports.

REFERENCES

- Rysin I., Petukhova L. Monitoring of channel processes on the interfluvium between the Kama and the Vyatka rivers. *Sediment transfer through the fluvial system. Proc. of the International Symposium*. Moscow, IAHS Publ., 2004. Vol. 288, pp. 261–268.
- Dey S. *Fluvial hydrodynamics: hydrodynamic and sediment transport phenomena*. Berlin, Germany, Springer, 2014. 667 p.
- Baljyan V.P. To the method of calculating hydromorphometric parameters of riverbeds. *Collection of scientific works Institute of Water Management of the Georgian Technical University*, 2018, no. 73, pp. 9–16. In Rus.
- Espa P., Batalla R.J., Brignoli M.L. *Tackling reservoir siltation by controlled sediment flushing: impact on downstream fauna and related management issues*. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218822> (accessed 15 March 2021).
- Zashchita narodokhozyaystvennykh ob'ektov ot vozdeystviya solevykh potokov. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii po sel'yam* [Protection of national economic objects from the effects of mudflows Materials of the International Conference on Mudflows]. Pyatigorsk, 2004. Iss. 2, 175 p.
- Baljyan P.H., Baljyan V.P. *Rusloformiruyushchie yavleniya u selezashchimykh sooruzheniy. Metody rascheta ikh parametrov* [Channel-forming phenomena in mudflow protection facilities. Methods for calculating their parameters]. Moldova, LAP Lambert Academic Publ., 2018. 57 p.
- Kuspilić N., Bekić D., Gilja G., McKeogh E. Monitoring of river channel morphodynamical changes in the zone of bridge piers. *Materials I Intern. Confer. on Road and Rail Infrastructure*. Opatija, Croatia, 2010.
- Tokmajyan V.H., Baljyan V.P., Babayan G.R. Possible gradelines of channel transformations. *Collected Papers IX Intern. Scientific and Technical Confer. Modern Problems of Water Management, Architecture and Construction*. Tbilisi, 22–27 July, 2019. pp. 28–32.
- Van Rijn L.C. *Sediment transport by currents and waves. The handbook*. Netherlands, Delft Hydraulics Laboratory, 1989. 343 p.
- Dey S. Experimental study on incipient motion of sediment particles on generalized sloping fluvial beds. *International Journal of Sediment Research*, 2001, vol. 16, pp. 391–398.
- Klaven A.B., Kopaliani Z.D. *Eksperimentalnye issledovaniya i gidravlicheskie modelirovaniye rechnykh potokov i ruslovykh*

- protsesov* [Experimental studies and hydraulic modeling of river flows and channel processes]. St. Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 2011. 504 p.
12. Sumer B.M. Mathematical modelling of scour: a review. *Journal of Hydraulic Research*, 2007, vol. 45, pp. 723–735.
 13. Melville B.W. The physics of local scour at bridge piers. 4th *International Conference on Scour and Erosion*. Tokyo, Japan, November 5–7, 2008. pp. 28–40.
 14. Zanke U.C., Hsu T.W., Roland A., Link O., Diab R. Equilibrium scour depths around piles in no cohesive sediments under currents and waves. *Coastal Engineering*, 2011, vol. 58, pp. 986–991.
 15. Esmaili T., Dehghani A.A., Zahiri A.R., Suzuki K. 3D numerical simulation of scouring around bridge piers (case study: bridge 524 crosses the Tanana river). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2009, vol. 58, pp. 1028–1032.
 16. Tokmajyan H.V., Baljyan P.H., Sarukhanyan A.A. Boundaries of applicability of liquids flow regularities for mud flows. *International Symposium. Floods and modern methods of control measures*. Tbilisi, 2009. pp. 492–494.
 17. Pozdnyakov Sh.R., Shmakova M.V. Sravnitelny analiz formul raskhoda vlekomykh nanosov na primere reki Ala-archa [Comparative analysis of the formulas of the tractional load by the example of the Ala-Archa River]. *Ekosistemy malykh rek: ekologiya, okhrana. Materialy 2 Vserossiyskoy shkoly-konferentsii* [Mater. 2nd All-Russian School-Conference «Small River Ecosystems: Ecology, Protection». Borok, 2014. Vol. II, pp. 320–323.
 18. Mamedov J.G. Metodika rassheta naibolshikh raskhodov vneshnikh nanosov gryazevykh seley [Technique of calculation of the highest consumption of mud torrent suspended sediments]. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, 2019, no. 3, pp. 98–104.
 19. Baljyan P.H., Madatyan G.G., Kelejian H.G. Calculation of parameters of the channel erosion in transition sites of the mountain river zone. *Bulletin of High Technology*, 2017, vol. 2 (4), pp. 3–9.
 20. Andreev O.V. *Proektirovanie mostovykh perekhodov* [Design of bridge crossings]. Moscow, Transport Publ., 1980. 215 p.
 21. Badajyan G.S., Baljyan P.H. K eksperimentalnomu issledovaniyu uslovykh deformatsiy mostovykh perekhodov cherez gornye reki [To experimental study on channel deformations of bridge crossings over mountain rivers]. *Tezisy dokladov IV nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po vodnomu khozhyaystvu* [Abstracts of IV Scientific Conference on Water management]. Erevan, 1982. pp. 26–28.

Received: 12 April 2021.

Information about the authors

Arestak A. Sarukhanyan, Dr. Sc., professor, National University of Architecture and Construction of Armenia.

Pargev O. Baldjyan, Dr. Sc., professor, National Polytechnic University of Armenia.