

Б. И. ВОЛОСЕЦКИЙ, Я. И. КАГАНОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ИЗ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ, ДЛЯ ПРОГНОЗА РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Процессы переформирования русел горных рек, наиболее отчетливо проявляющиеся в период паводка, вызывают значительные осложнения в работе гидроэлектростанций, нарушения функционирования дорожной сети, затопления населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий, ухудшения условий лесосплава и т. п.

Достаточно эффективным и широко распространенным во многих странах техническим средством борьбы с наводнением является обвалование рек и строительство каскада поперечных перегородающих сооружений. Защитно-выправительные сооружения можно проектировать лишь на основе прогноза русловых переформирований рек, вызванных искусственным изменением их гидравлического и гидрологического режимов. Формы и размеры возможных русловых деформаций определяют габариты сооружений и размещение их в плане.

Теоретические и экспериментальные исследования закономерностей руслового процесса, динамики его переформирования служат основой прогноза характеристик транспортирующей способности потока и русловых деформаций, расчета устойчивых русловых форм, размещения и компоновки сооружений.

При расчете русловых деформаций, происходящих в период паводка, практическое значение имеет получение морфологических зависимостей непосредственно из анализа естественных форм русла и гидравлических параметров потока.

Факторами, определяющими русловой процесс естественных потоков, являются: гидрологический режим водотока, который зависит от количества паводкового расхода; гидравлический режим, оцениваемый силой тяжести; степень шероховатости ложа русла, определяемая составом русловых отложений.

Инженерная практика ставит задачу изучения этого многофакторного процесса в конкретных региональных условиях, а при количественном описании процесс необходимо рассматривать в динамике, т. е. учитывать фактор времени.

Приняв в качестве исходного уравнения деформации русла [1] и пренебрегая при этом средней концентрацией взвешенных наносов, получаем следующее выражение:

$$\frac{\partial Z_s}{\partial t} = \frac{m_1}{1 - \epsilon} \frac{q_s}{H} \frac{\partial H}{\partial X} \frac{\delta + 1}{\delta - 1}, \quad (1)$$

где X — продольная координата, t — время; $H = \omega/B$ — средняя глубина; ω — площадь живого сечения; B — ширина сечения по верху; Z_s — средняя высота дна; ϵ — коэффициент пористости донных отложений; $q_s = \frac{Q_s}{B}$ — удельный расход наносов; Q_s —

объемный расход наносов; m_1 и δ — показатели степени в аппроксимирующих уравнениях $Q_s = Av^{m_1}$ и $H = \beta B \delta$; v — средняя скорость водного потока.

Численному интегрированию уравнения (1) с целью определения размеров русловых деформаций в расчетных створах водотока должны предшествовать получение и анализ функций $Q_s(t)$, $\omega(Z)$, $B(Z)$, $H(x)$. Значения H и Q_s вычисляем при наличии графика изменения расходов воды $Q(t)$ во времени в период паводка, кривых соответственных уровней в расчетных створах и гидравлических уклонов I . Для этого необходимо провести геодезические измерения в фиксированных поперечных сечениях русла реки.

С целью определения русловых деформаций были проведены геодезические измерения в фиксированных створах на р. Быстрица в районе пгт. Подбуж. Комплекс геодезических наблюдений состоял из планово-высотной привязки промерных створов и детальных измерений по поперечникам в этих створах.

Плановая привязка обеспечила определение координат с точностью ± 5 см, высотная — ± 1 см. Отметки точек на поперечных профилях по гидрологическим створам находили с помощью технического нивелирования по существующей методике [3]. Длина

поперечников не превышала 100 м, расстояние определялось с ошибкой не более ± 10 см, погрешность отметок характерных точек поперечного профиля не превышала ± 1 см. Расстояния между гидрологическими створами составляли в среднем 25...50 м, длина исследуемого участка реки — около 2 км.

Полевые измерения были проведены до и после паводка 05.07.84 г., что дало возможность оценить размеры вызванных им русловых деформаций. По данным этих измерений были пост-

Таблица 1

Деформации русла р. Быстрица
по линии наибольших глубин

$L, \text{ м}$	$H^I, \text{ м}$	$H^{II}, \text{ м}$	$\Delta H = H^{II} - H^I, \text{ м}$
100	96,30	95,00	-0,30
150	96,80	96,60	-0,20
200	97,40	97,50	+0,10
250	98,35	98,35	0,00
300	98,55	98,55	0,00
350	98,75	98,65	-0,10
400	98,90	98,50	-0,40
450	98,85	98,50	-0,35
500	99,15	99,10	-0,05
550	99,25	99,50	+0,25
600	99,35	99,90	+0,55
650	99,75	100,10	+0,35
700	100,70	110,75	+0,05
750	101,25	101,30	+0,05
800	101,15	101,40	+0,25
850	101,50	101,77	+0,27
900	102,30	102,30	0,00
950	102,55	102,55	0,00
1000	102,75	102,70	-0,05
1050	103,05	102,85	-0,20
1100	103,95	103,60	-0,35

Таблица 2

Деформации долины р. Быстрица

$L, \text{ м}$	$H^{II}, \text{ м}$	$H^I, \text{ м}$	$\Delta H = H^{II} - H^I, \text{ м}$
30,0	98,50	98,70	-0,20
32,5	98,40	98,60	-0,20
35,0	98,25	98,50	-0,25
37,5	98,10	98,35	-0,25
40,0	97,90	98,15	-0,25
42,5	97,90	98,15	-0,25
45,0	97,80	98,20	-0,40
47,5	97,80	98,20	-0,40
50,0	98,00	98,30	-0,30
52,5	98,35	98,50	-0,15
55,0	98,95	98,70	+0,25
57,5	100,10	99,00	+0,10
60,0	106,10	99,70	+0,40
62,5	100,10	100,20	-0,10
65,0	100,10	100,20	-0,10
67,5	100,10	100,20	-0,10
70,0	100,05	100,20	-0,15
72,5	100,05	100,20	-0,15
75,0	100,00	100,20	-0,20

Примечание. Таблица подается сокращенно, так как в начале створа деформации незначительны.

роены поперечные профили по всем створам и продольные профили исследуемого участка реки по линии наибольших глубин.

Зафиксированы значительные деформации как в продольном, так и в поперечном направлениях. Размеры деформаций приведены в табл. 1 — для продольного профиля реки, в табл. 2, 3 — по поперечным профилям для двух характерных створов, расположенных в начальной и средней части исследуемого участка реки. Значение деформации i -й точки определяем как

$$\Delta H_i = H_i^{II} - H_i^I, \quad (2)$$

где H_i^I и H_i^{II} — отметки соответствующих точек на профиле, определенные до и после паводка.

Анализируя приведенные данные, видим, что деформации довольно значительны — до 1 м, а в среднем находятся в пределах 0,3...0,5 м, причем наблюдаются как аккумуляция, так и размыв дна реки. Из табл. 1 видно, что участки размыва и аккумуляции чередуются, образуя соответствующие русловые формы. Так, раз-

мыв в начальной части участка до 0,4 м достигает в длину 150...200 м, а в ширину — 30...35 м. В середине участка преобладает аккумуляция донных отложений с амплитудой до 0,55 м. Общая картина деформации русла реки достаточно сложная, и ее анализ требует более детальных исследований.

В практике проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений возникает необходимость прогнозирования руслового процесса и переформирования русла реки. При прогнозе русловых деформаций, описываемых уравнением (1), необходимо определить значения функций $\omega(Z)$ и $B(Z)$ для фиксированных поперечных сечений. Значения этих функций находят путем аппроксимации площади живого сечения соответствующей фигурой, представляющей поперечное сечение по данному створу, ограничивая его по верху при заданных Z прямой.

Расчет этих функций производили на ЭВМ ЕС-1033. По заданным дискретным значениям $Z_i = Z(Y_i)$, где Z_i — отметка точки, Y_i — поперечная координата, т. е. на расстоянии по поперечнику от исходной точки до определяемой находят значения $\omega(Z)$ и $B(Z)$. Шаг Z определяется требуемой детальностью задания

функций ω и B . Вычисления проведены для ряда створов на исследуемых участках р. Быстрица, исходя из имеющихся полевых наблюдений. На рисунке приведены значения функций $\omega = \omega(Z)$ и $B = B(Z)$ для двух створов по данным табл. 2 и 3.

При ограниченных возможностях выполнения детальных полевых исследований, а также в случаях, когда необходимо учесть русловые переформирования при проектировании и эксплуатации капитальных гидротехнических сооружений, расчет средней деформации русла для гидрографа расчетного, нормативного или катастрофического паводков можно выполнить по приведенной ниже методике.

$$\text{В (1) обозначим } \Phi_Z = \frac{R_{\text{вл}}}{\omega} = \frac{\gamma_n q_s}{H},$$

где $R_{\text{вл}}$ — массовый расход влекомых наносов; γ_n — уд. вес наносов.

Введем величину C_z , характеризующую скорость распространения соответствующей фазы руслового процесса.

$$C_z = \frac{m_1}{\gamma_n (1 - \varepsilon)} \Phi_Z. \quad (3)$$

Таблица 3
Деформации долины р. Быстрица

$l, \text{ м}$	$H^{\text{II}}, \text{ м}$	$H^{\text{I}}, \text{ м}$	$\Delta H = H^{\text{II}} - H^{\text{I}}, \text{ м}$
0,0	104,41	104,41	0,00
2,5	103,50	103,30	+0,20
5,0	102,70	102,60	+0,10
7,5	101,10	102,10	-1,00
10,0	100,20	101,30	-1,10
12,5	100,00	99,90	+0,10
15,0	100,10	99,70	+0,40
17,5	100,30	99,70	+0,60
20,0	100,70	100,30	+0,40
22,5	100,70	100,30	+0,40
25,0	100,90	100,60	+0,30
27,5	101,00	100,90	+0,10
30,0	101,00	100,90	+0,10
32,5	101,00	100,90	+0,10
35,0	101,70	100,90	+0,80
37,5	101,30	101,00	+0,30
40,0	101,70	101,70	0,00
42,5	101,00	102,70	-0,70

Смещение соответствующей фазы руслового процесса за период руслоформирования в интервале от t_n до t_k

$$X_\Phi = \frac{m_1}{\gamma_n(1-\varepsilon)} \frac{\delta+1}{\delta-1} \int_{t_n}^{t_k} \Phi_Z dt. \quad (4)$$

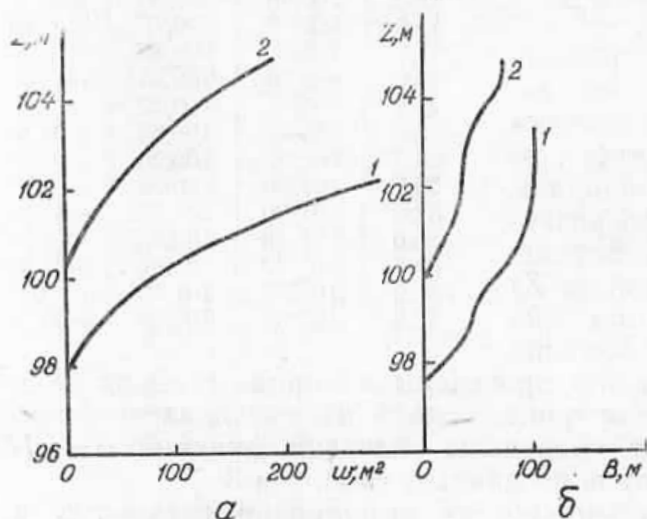
Средняя деформация в расчетном створе за период руслоформирования

$$\Delta Z = \frac{m_1}{\gamma_n(1-\varepsilon)} \frac{\delta+1}{\delta-1} \frac{\partial H}{\partial X} \int_{t_n}^{t_k} \Phi_Z dt. \quad (5)$$

Поскольку действительная закономерность распределения соответствующей фазы руслового процесса в данном створе на лежащий ниже участок неизвестна, в первом приближении принят линейный закон изменения деформации от значения ΔZ в данном

расчетном створе до нуля в сечении на расстоянии X_Φ ниже по течению реки.

Если в каждом характерном створе построить ординаты расчетных деформаций соответствующих знаков и выразить влияние руслового процесса на нижележащий участок реки в форме прямоугольного треугольника (эпюры), то в результате алгебраического сложения их ординат получим суммарную эпюру деформации по длине русла.



Зависимость площади живого сечения и ширины водотока от высоты:

$a - \omega = \omega(Z)$; $b - B = B(Z)$. 1 — первый створ, 2 — второй створ.

Расчет деформации русла выполняется при принятом гидрографе паводка и установленном положении дамбы обвалования по данным предварительной оценки устойчивости русла [2].

В целом методику прогноза русловых переформирований можно применить для любой горной зоны, так как ее уравнения получены из общего дифференциального уравнения динамики русловых потоков. При этом учитывают некоторые характеристики потока, определяющие скорость и длину распространения соответствующей фазы руслового процесса. Прогноз русловых деформаций выполняют при выбранном положении дамбы обвалования.

Исходными данными для расчета являются графики изменения во времени величин $Q(t)$, $\omega_Y(t)$, $B_Y(t)$, $I_Y(t)$, $d_{ср}$ при выбранном

положении дамбы обвалования. Исходной информацией служат производная $\partial H / \partial X$ со своим знаком и границы периода руслоформирования (t_n, t_k), полученные при оценке устойчивости русла.

Определение средних деформаций русла в расчетном створе производится в следующем порядке: составляются временные ряды величин Φ_z ; определяются смещения X_Φ соответствующей фазы руслового процесса за расчетный период руслоформирования; рассчитывается средняя деформация ΔZ в данном створе.

Изложенная методика прогноза русловых деформаций предусматривает проведение натурных геодезических измерений, математическая обработка и анализ которых составят основу исходной информации к расчету. Это позволит в практике проектирования регулировочных сооружений на горных реках осуществлять прогноз деформаций при ограниченном объеме полевых наблюдений.

Список литературы: 1. Каганов Я. И. Русловые переформирования при регулировании рек горно-предгорной зоны. — Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1981. — 118 с. 2. Каганов Я. И. Русловой процесс при обваловании горных рек. — В кн.: Эффективное использование пойменных земель западных районов УССР. Львов, 1983, с. 9—16. 3. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам / Под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука. — М.: Недра, 1980. — 781 с.