

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 532

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ВЛИЯНИИ СТЕСНЕННОГО РЕЧНОГО РУСЛА НА ГИДРАВЛИКУ ПОТОКА И РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ

Н.К. Пономарев

Кафедра гидравлики и гидротехнических сооружений
Российский университет дружбы народов
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Предложены зависимости определяющие закономерность трансформации уклона свободной поверхности по всей длине участка влияния стесненного речного русла на гидравлику потока и русловые деформации, что позволяет с большой степенью точности решить поставленную задачу и правильно запроектировать положение регулирующих сооружений.

Расчеты регулирования русла реки на участке строительства мостовых переходов обычно включают определение ширины подмостового потока, глубины размыва русла, назначение зон транзитного потока выше и ниже мостового перехода.

Определение ширины и положения транзитных зон речного потока не имеет окончательного решения. В тоже время, если принятая ширина превышает реально формирующуюся ширину, то вдоль направляющего сооружения образуется обширная водоворотная зона. Для уменьшения отрицательного воздействия последней возводятся короткие шпоры, которые делят ее на небольшие изолированные участки, а головы шпор образуют новую границу транзитного потока. Напротив, преуменьшение транзитной ширины потока вызывает дополнительное увеличение подпора и возрастания скорости вдоль регулирующего сооружения, что требует усиления крепления его откосов.

Доказано, что определяющим в движении руслового потока является не фактическая ширина русла, а уклон свободной поверхности. Он не может изменяться ступенчато, создавая переломы продольного профиля. Эта природная особенность, которая обусловлена структурностью кинематических образований, подтверждается наличием отрыва потока даже от плавных берегов реки, начертания которых не соответствуют основной закономерности изменения продольного профиля.

Ниже будут предложены зависимости, определяющие закономерность трансформации уклона свободной поверхности на всей длине участка влияния мостового перехода на гидравлику потока, скоростную структуру и русловые деформации, что позволяет с большой степенью точности решить поставленную задачу и правильно запроектировать положение регулирующих сооружений.

При назначении и расчете дамб обвалования пойменного массива принимается, что уклон на участке обвалования остается равным бытовому уклону, а вода, перемешавшаяся ранее по обвалованной части теперь течет как бы сверху естественного потока над руслом и над необвалованной частью поймы. Такая расчетная схема не имеет ничего общего с фактическим природным явлением.

1. На длине стесненного участка реки уклон свободной поверхности не может быть равен бытовому, ибо при стеснении русла изменяется как его морфология, так и гидравлические сопротивления.

2. В расчетной схеме полностью игнорируются измененные условия подхода воды к регулируемому участку и выхода их него. Перед участком регулирования возникает подпор, который и обеспечивает необходимое увеличение скорости потока в пределах стеснения. Непосредственно на входе потока в стеснение возникает резкая кривая спада, которая, в случае большой длины участка регулирования, переходит в серию сопряженных кривых подпора и спада, а непосредственно ниже стеснения формируется волнообразный продольный профиль свободной поверхности.

3. Трансформация уклона свободной поверхности вызывает перераспределение скорости течений по ширине и длине потока и перестроения русловых мезоформ. Возникают зоны интенсивных размывов бровок паводкового русла и ограждающей дамбы, особенно в верхней ее части, где на участке первой (наибольшей) кривой спада наблюдаются максимальные скорости течения воды. Возможны размывы продольной дамбы и на других участках, где развивающиеся новые мезоформы, имеют наибольшие скорости потока.

Исходя из решений, определяющих вид возникающих мезоформ, их размеры, определяются участки интенсивной аккумуляции и размыва дна русла и берегов – все это позволяет более правильно запроектировать схему регулирования пойменного и руслового потоков.

Перераспределение уклона свободной поверхности, трансформируют продольный профиль как по длине отдельных струй плана течений, так и целого потока, в результате существенно изменяется характер водных течений. Последние определяют интенсивные формации речного русла, которые нередко сказываются на нормальной работе возведенных сооружений.

Определяющими факторами в измененном сооружениями поле течений являются перестроения уклона свободной поверхности. Новое распределение уклонов формируется в результате наложения на бытовой профиль свободной поверхности кривых подпора и спада. Последние возникают всегда при изменении площади живого сечения русла, поскольку необходимое увеличение скорости течения воды в зоне стеснения достигается в результате перехода части удельной потенциальной энергии потока в удельную кинетическую энергию. В свою очередь приращение удельной потенциальной энергии потока возможно лишь только вследствие повышения отметок свободной поверхности выше сооружений.

Повышение отметок свободной поверхности, или величина подпора ΔZ_W , зависит от бытового уклона свободной поверхности в реке, степени сжатия потока сооружениями B_{cm}/B_0 и гидроморфологического показателя русла K_T .

Рассмотрим этот вопрос подробнее. Разделим зону воздействия водостеснительных сооружений на речной поток на два участка (рис. 1). Расчетный створ будет располагаться несколько выше сооружений, там, где новый уклон свободной поверхности получает наименьшее значение $I = I_{01} = I_{min}$. Формирующаяся на первом (верхнем) участке кривая подпора распространена вверх против течения на расстояние l_{01} . Здесь расположим начало продольной координаты l_1 , которую совместим с осредненной поверхностью дна и направим по течению.

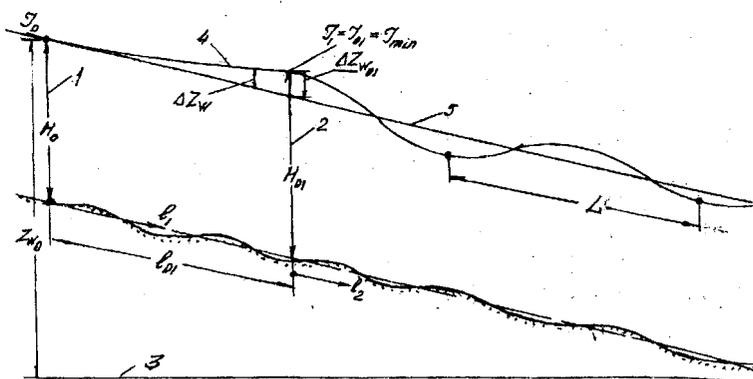


Рис. 1. 1 – начальный створ, 2 – расчетный створ, 3 – условная плоскость сравнения
4 – кривая подпора свободной поверхности, 5 – бытовая свободная поверхность.

Уклон свободной поверхности по длине первого участка постепенно уменьшается от бытового уклона J_0 при $l_1 = 0$ до наименьшего значения J_{01} в расчетном створе.

А.Н. Бутаков [1] показал, что продольный и поперечный уклоны свободной поверхности подчиняются экспоненциальной зависимости. Возникающие волновые возмущения свободной поверхности описываются следующей зависимостью:

$$J = J_0 + J_0 a'_j \exp[-k_T C_K (\tilde{l}_{01} - \tilde{l}_1)] \quad (1)$$

Здесь гидроморфологический показатель русла k_T определяется выражением

$$K_T = \lambda_T \frac{B_0}{H_0}$$

где λ_T - коэффициент гидравлического трения, B_0 и H_0 - ширина и средняя глубина данного русла.

В выражении (1) a'_j - амплитуда изменения уклона; при подпоре a'_j имеет отрицательное значение, при спаде - положительное; C_K - некоторый коэффициент, характеризующий интенсивность изменения уклона; $\tilde{l}_{01} = l_{01} / B_0$, $\tilde{l}_1 = l_1 / B_0$.

Для относительного уклона зависимость (1) записывается так

$$\tilde{J}_1 = \frac{J_{11}}{J_{01}} = 1 + a'_j e^{-K_T C_K (\tilde{l}_{01} - \tilde{l}_1)} \quad (2)$$

Нами сделана попытка распространить зависимость (1) на более общий случай, а именно на описание сложных кривых подпора и спада при стеснении потока сооружениями.

Выражение для продольного профиля свободной поверхности можно получить интегрированием зависимости (1). Решение получает вид

$$Z_{W_1} = Z_{W_0} - J_0 B_0 \tilde{l}_1 - J_0 B_0 \frac{a'_j}{K_T C_K} [e^{-K_T C_K (\tilde{l}_{01} - \tilde{l}_1)} - e^{-K_T C_K \tilde{l}_{01}}] \quad (3)$$

Здесь Z_{W_0} - отметка свободной поверхности в начальном створе, отсчитываемая от принятой горизонтальной плоскости сравнения.

Принимая относительную длину \tilde{l}_{01} настолько большой, при которой значение второй экспоненты, стоящей в квадратных скобках $e^{-K_T C_K \tilde{l}_{01}} \rightarrow 0$ (практически ее значение может составлять доли процента), зависимость (3) можно записать в следующем более простом виде:

$$Z_{W_1} = Z_{W_0} - J_0 B_0 \tilde{l}_1 - J_0 B_0 \frac{a'_j}{K_T C_K} e^{-K_T C_K (\tilde{l}_{01} - \tilde{l}_1)} \quad (4)$$

Наибольшая величина подпора наблюдается в расчетном створе

$$\Delta Z_{W_{01}} = -J_0 B_0 \frac{a'_j}{K_T C_K} \quad (5)$$

Отметка свободной поверхности в расчетном створе

$$Z_{W_{01}} = Z_{W_0} + \Delta Z_{W_1} - J_0 B_0 \tilde{l}_{01} \quad (6)$$

Амплитуда уклона a'_j определяется из выражения для относительного уклона (2), записанная для расчетного створа, т.е. при $\tilde{l}_1 = \tilde{l}_{01}$. Формула имеет следующий вид

$$a'_j = \frac{J_{01}}{J_0} - 1 \quad (7)$$

Ориентировочно величину подпора, возникающую перед водостеснительными сооружениями, можно оценить по зависимости, которую представим так

$$\Delta Z_{W_{01}} \cong K_{cm} \frac{V_{cm}^2}{2g} \quad (8)$$

где V_{cm} - скорость потока в створе наибольшего стеснения русла; коэффициент K_{cm} , учитывающий потери энергии при стеснении потока, колеблется в пределах 1,05...1,2.

Скорость потока в расчетном створе определяется уравнением неразрывности

$$V_{01} = \frac{Q}{B_0 H_{01}} \quad (9)$$

где $H_{01} = H_0 + \Delta Z_{W_{01}}$.

Уклон свободной поверхности в расчетном створе можно оценить по формуле равномерного движения с введением соответствующих поправок, учитывающих особенности движения потока в зоне расчетного створа. Расчетная формула принимает вид

$$J_{01} = K_{\Pi} \frac{\lambda_T V_{01}^2}{2gH_{01}} \quad (10)$$

Коэффициент K_{Π} , учитывающий необходимые поправки, как показали расчеты, растет с увеличением величины подпора $\Delta Z_{W_{01}}$. Ориентировочно $K_{\Pi} = 1,1 \dots 1,4$. Истинное значение этого коэффициента находится методом итераций с использованием следующей формулы:

$$U_{01} = 1 + \frac{a'_j}{C_K + 1},$$

где U_{01} - значение функции скорости в расчетном створе.

Коэффициент C_K определяется по формуле

$$C_K = -J_0 B_0 \frac{a'_j}{K_T \Delta Z_{W_{01}}}, \quad (12)$$

Порядок расчета покажем на конкретном примере.

Реальный поток при квазиравномерном движении характеризуется следующими данными: $Q = 259 \text{ м}^3/\text{с}$, $B_0 = 225 \text{ м}$, $H_0 = 1.8 \text{ м}$, $J_0 = 0.000167$, $\lambda_T = 0.0144$, $K_T = 1.8$.

Пусть величина подпора в расчетном створе $\Delta Z_{W_{01}} = 0.2 \text{ м}$, скорость потока в этом же створе

$$V_{01} = \frac{Q}{B_0 (H_0 + \Delta Z_{W_{01}})} = \frac{259}{225 \cdot 2.0} = 0.575 \text{ м/с}.$$

Уклон свободной поверхности в расчетном створе определяется зависимостью (10)

$$J_{01} = 1.1 \cdot \frac{0.0144 \cdot 575^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 2.0} = 0.0001334$$

Амплитуда уклона по формуле (7) равна

$$a'_J = \frac{0.0001334}{0.000167} - 1 = -0.201.$$

Коэффициент C_K по зависимости (12)

$$C_K = -0.000167 \cdot 225 \frac{(-0.201)}{1.8 \cdot 0.2} = 0.0020$$

Правильность вычислений значений a'_J и C_K проверим по выражению (11)

$$U_{01} = 1 + \frac{a'_J}{C_K + 1} = 1 - \frac{0.201}{1.002} = 0.8$$

Новая скорость в расчетном створе

$$V_{01} = 0.64 \sqrt{0.8} = 0.572 \text{ м/с}$$

Ширина транзитной струи

$$B_{mp} = \frac{Q}{H_{01} \cdot V_{01}} = \frac{259}{2 \cdot 0.572} = 226 \text{ м}$$

Полученное значение ширины транзитной струи всего лишь на 0.4% больше ширины русла, что вполне допустимо при приближенности принятия ряда допущений. В тоже время некоторое превышение ширины транзитной струи над шириной русла позволяет думать о возможности некоторого размыва берегов реки в расчетном створе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутаков А.Н. Гидравлика развития мезоформ речного русла. –М.; изд-во РУДН, 1999. – с.216.
2. Гончаров В.Н. Основы динамики русловых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 452 с.
3. Пономарев Н.К. Гидравлика стесненного русла. Вестник Российского университета дружбы народов. Инженерные исследования. Изд-во РУДН, 2000 г. –С. 89-92.
4. Чертоусов М.Д. Гидравлика: Спец. Курс. М.;Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 630с.

SOME REMARKS OF THE AFFECT OF CRAMPED WATERCOURSE ON THE HYDRAULICS OF THE STREAM AND DEFORMATIONS OF THE WATERCOURSE.

N.K. Ponomarev

Department hydraulics and hydraulic engineering
People's Friendship University of Russia
Miklukho-Maklay, St.,6, 117198, Moscow, Russia

Are offered the dependences determining law of transformation of a bias of a free surface on all length of a site of influence of the constrained river channel on hydraulics of a stream and river deformation that allows with a sufficient degree of accuracy to decide a task in view and it is correct design position of regulating constructions