

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСТЕКАНИЯ ПОТОКА ЗА ГЛУХОЙ ПОЙМЕННОЙ ДАМБОЙ

М.Р.Бакиев, Х.Ж.Хайитов

Ташкентский институт ирригации и мелиорации (ТИИМ)

Для изучения закономерностей растекания стесненного потока с учетом освоения междамбного пойменного пространства были проведены экспериментальные и теоретические исследования /3/.

Анализ экспериментальных эпюр показал, что частичное освоение междамбного пойменного пространства не меняет качественную картину потока в области растекания. Это дало возможность рассматривать поток за сжатым сечением, как в работах /5/, состоящих из следующих гидравлических однородных зон (рис1):слабовозмущенного ядра $v'_{яx}, v_{яx}, U_{рx}, U_{яx}$; интенсивного турбулентного перемешивания v_x, U ; обратных токов $U_{нx}$.

Эксперименты показали, что в области растекания за счет расширения потока, а также под действием внешних сил (сопротивление дна, трение о берега и на границе водоворота) гидравлические характеристики (ширина, глубина, скорость) транзитного потока изменяются.

Экспериментально установлено, что в зоне интенсивного турбулентного перемешивания распределение скоростей подчиняется универсальной зависимости Шлихтинга - Абрамовича, написанного для начального участка свободных турбулентных струй:

для зоны v_x

$$(U_{яx} - U)/(U_{яx} - U_{нx}) = (1 - \eta^{3/2})^2 \quad \text{где } \eta = (y_2 - y)/v_x \quad (1)$$

для зоны $v_e = v_p + v_n$

$$(U - U_n)/(U_p - U_n) = (1 - \eta_e^{3/2})^2$$

где $\eta = y/v$ - относительная ордината, v_e -общая ширина зоны взаимодействия руслового и пойменных потоков;

$$v_e / h = 2,4h_p / h_n - 2,4$$

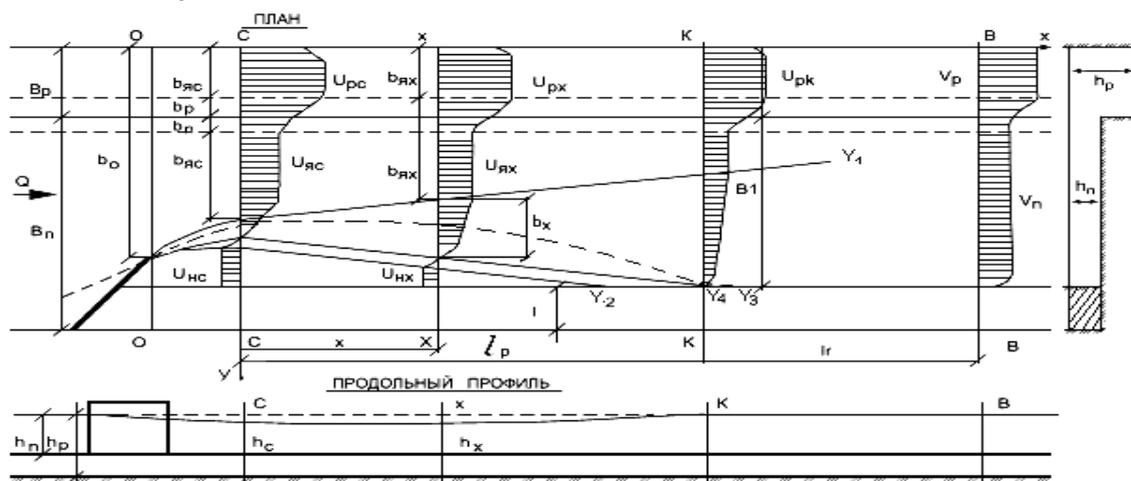


Рис-1. Расчётная схема растекания потока за сжатым сечением

Таким образом, целью теоретических исследований является определение закона изменения скорости в зоне слабовозмущенного ядра; скорости обратных токов; закона изменения ширины ядра; длины водоворотной зоны и глубины потока в конце водоворота с учетом освоения междамбного пойменного пространства.

При решении задач приняты следующие допущения: задача двумерная (плоская), режим течения потока установившийся, предполагается, что распределение давлений по глубине подчиняется гидростатическому закону, а поперечный перепад давлений в зоне растекания незначительный.

Для определения величины скорости в зоне слабовозмущенного ядра в русле с учетом освоения междамбного пойменного пространства, используем интегральное соотношение, характеризующее закон сохранения импульса в потоке. Указанное уравнение запишем для отсека жидкости, ограниченного сечениями $C-C$ и $X-X$, дном и боковыми границами потока (рис. 1):

$$(B_p - b_p)h_{pc}U_{pc}^2 + b_p h_{pc} \int_0^{b_p} U^2 dy + b_n h_{pc} \int_0^{b_n} U^2 dy + b_{яc} h_{pc} U_{яc}^2 + b_c h_{nc} \int_{y_1}^{y_2} U^2 dy + (B_n - b_n - b_{яc} - b_c - K_{олш} \sin \alpha) h_{nc} U_{nc}^2 =$$

$$= (B_p - b_p)h_{px}U_{px}^2 + b_p h_{px} \int_0^{b_p} U^2 dy + b_n h_{nx} \int_0^{b_n} U^2 dy + b_{яx} h_{яx} U_{яx}^2 + b_x h_{nx} \int_{y_1}^{y_2} U^2 dy + (B_n - b_n - b_{яc} - b_x - K_{олш} \sin \alpha) h_{nx} U_{nx}^2 +$$

$$+ \int_0^x \int_0^{B_p} \frac{\lambda_p}{2} U^2 dy dx + \int_0^x \int_0^{(B_n - K_{олш} \sin \alpha)} \frac{\lambda_n}{2} U^2 dy dx$$

где h_{px} , h_{nx} - глубина воды в области растекания в русле и на пойме

соответственно; $b_{яx}$ - ширина ядра в области растекания в русле;

b_x - ширина зоны интенсивного турбулентного перемешивания в области растекания.

Для облегчения решения, глубину воды в области растекания принимаем:

- в русле $h_{px} = h_{pc} = h_p = const = 0,5 (h_{pc} + h_p)$;

- на пойме $h_{nx} = h_{nc} = h_n = const = 0,5 (h_{nc} + h_n)$,

где h_p , h_n - бытовые глубины потока в русле и на пойме соответственно.

Силы трения на расчетном участке вычисляем по средним скоростям.

$$v_{p*} = 0.5(U_{pc} + v_p) \quad (3)$$

$$v_{n*} = 5(U_{яc} + v_n) \quad (4)$$

Использование универсальной зависимости Шлихтинга-Абрамовича (1) для зоны интенсивного турбулентного перемешивания в уравнении (2) вызывает при интегрировании непреодолимые математические трудности. Но М.А. Михалевым /5/ установлено, что в уравнении количества движения обратной скоростью можно пренебречь, если выполняется условие $-0.6 < (U_H / U_{яx}) < 0$. Учитывая вышесказанное, после интегрирования (2) и после преобразований получим закон изменения относительной скорости слабовозмущенного ядра в русле с учетом частичного освоения междамбного пойменного пространства:

$$\frac{U_{px}}{U_{pc}} = \sqrt{\frac{\bar{B}_p - \bar{b}_p + \bar{b}_e K_3 + \bar{b}_e \bar{h}_n K_4 + F_1 \bar{h}_n m_{pc}^2 - R}{\bar{B}_p - \bar{b}_p + \bar{b}_e K_5 + \bar{b}_e \bar{h}_n K_6 + F_2 \bar{h}_n m_{px}^2}} \quad (5)$$

где $R = \frac{a_p \bar{v}_p^2}{2} \xi + a_n \frac{\bar{v}_n^2}{2} \cdot \bar{h}_n$; $a_p = \frac{\lambda_p B_p}{h_p}$; $\bar{h}_n = h_n / h_p$; $\bar{B}_p = B_p / b_o$; $\xi = \frac{x}{b_o}$;

$$a_n = \frac{\lambda_n (B_n - K_{олш} \sin \alpha - \frac{b_{яc} + b_{яx}}{2})}{h_n}; \quad F_1 = \bar{b}_{яc} + 0,416 \bar{b}_c; \quad F_2 = \bar{b}_{яx} + 0,416 \bar{b}_x;$$

$$\bar{V}_{px} = \frac{V_{px}}{U_{pc}}; \quad V_{px} = \frac{V_{pc} + V_p}{2}; \quad V_{nx} = \frac{U_{яc} + V_n}{2}; \quad \bar{V}_{nx} = \frac{V_{nx}}{U_{pc}}.$$

$$K_3 = \phi_5 + m_{pc} \phi_6 + m_{pc}^2 \phi_7; \quad K_4 = \phi_8 + m_{pc} \phi_9 + m_{pc}^2 \phi_{10}; \quad K_5 = \phi_5 + m_{px} \phi_6 + m_{px}^2 \phi_7.$$

$$m_{px} = U_{яx} / U_{px}; \quad m_{pc} = U_{яc} / U_{pc}.$$

$$\begin{aligned}
\phi_5 &= \bar{b}_p^* - 1.6\bar{b}_p^{*2.5} + 1.5\bar{b}_p^{*4} - 0.727\bar{b}_p^{*5.5} + 0.143\bar{b}_p^{*7}; \\
\phi_6 &= 1.6\bar{b}_p^{*2.5} - 2.5\bar{b}_p^{*4} + 1.454\bar{b}_p^{*5.5} - 0.286\bar{b}_p^{*7}; \\
\phi_7 &= \bar{b}_p^{*4} - 0.727\bar{b}_p^{*5.5} + 0.143\bar{b}_p^{*7}; \\
\phi_8 &= (1 - \bar{b}_p^*) - 1.6(1 - \bar{b}_p^*)^{2.5} + 1.5(1 - \bar{b}_p^*)^4 - 0.727(1 - \bar{b}_p^*)^{5.5} + 0.143(1 - \bar{b}_p^*)^7; \\
\phi_9 &= 1.6(1 - \bar{b}_p^*)^{2.5} - 2.5(1 - \bar{b}_p^*)^4 + 1.454(1 - \bar{b}_p^*)^{5.5} - 0.286(1 - \bar{b}_p^*)^7; \\
\phi_{10} &= (1 - \bar{b}_p^*)^4 - 0.727(1 - \bar{b}_p^*)^{5.5} + 0.143(1 - \bar{b}_p^*)^7; \quad \bar{b}_p^* = b_p / b_e \\
\bar{b}_{nc} &= \bar{B}_n - \bar{b}_n - \bar{b}_{яc} - \bar{b}_c - Kol_{uu} \sin \alpha; \quad \bar{b}_{nx} = \bar{B}_n - \bar{b}_n - b_{яx} - \bar{b}_x - Kol_{uu} \sin \alpha;
\end{aligned}$$

Уравнение сохранения расхода, для створов С-С и X-X имеет вид:

$$\begin{aligned}
&(B_p - b_p)h_{pc} U_{pc} + b_p h_{pc} \int_0^{b_e} U dy + b_n h_{nx} \int_{b_p}^{O_e} U dy + b_{яc} h_{nc} U_{яc} + b_c h_{nc} \int_0^{y_2} U dy + \\
&+ (B_n - b_n - яc - b_c - Kol_{uu} \sin \alpha) h_{nc} U_{nc} = (B_p - b_p) h_{px} U_{px} + b_p h_{px} \int_0^{y_1} U dy + \\
&+ b_n h_{nx} \int_{b_p}^{b_e} U dy + b_{яx} h_{nx} U_{яx} + b_x h_{nx} \int_{y_1}^{y_2} U dy + (B_n - b_n - b_{яx} - b_x - Kol_{uu} \sin \alpha) h_{nx} U_{nx}
\end{aligned} \tag{6}$$

В связи с малой величиной обратной скорости в сжатом сечении принимаем $U_{nc} = 0$.
Выполнив интегрирование, после преобразований получим:

$$\frac{U_{px}}{U_{pc}} = \frac{\bar{B}_p - \bar{b}_p + \bar{b}_e K_1 + \bar{b}_e \bar{h}_n K_2 + \bar{h}_n m_{pc} (\bar{b}_{яc} + 0.55 \bar{b}_c)}{\bar{B}_p - \bar{b}_p + \bar{b}_e K_7 + \bar{b}_e \bar{h}_n K_8 + \bar{h}_n m_{px} (\bar{b}_{яx} + 0.55 \bar{b}_x)} \tag{7}$$

где $K_1 = \phi_1 + m_{pc} \phi_2$; $K_2 = \phi_3 + m_{pc} \phi_4$; $K_7 = \phi_1 + m_{px} \phi_2$; $K_8 = \phi_3 + m_{px} \phi_4$;

$$\begin{aligned}
\phi_1 &= \bar{b}_p - 0.8(\bar{b}_p)^{2.5} + 0.25\bar{b}_p^4; & \bar{B}_p &= B_p / b_o; \\
\phi_2 &= 0.8\bar{b}_p^{2.5} - 0.25\bar{b}_p^4; & \bar{b}_p &= b_p / b_o; \\
\phi_3 &= (1 - \bar{b}_p) - 0.8(1 - \bar{b}_p)^{2.5} + 0.25(1 - \bar{b}_p)^4; & \bar{b}_{яc} &= b_{яc} / b_o; \\
\phi_4 &= 0.8(1 - \bar{b}_p)^{2.5} - 0.25(1 - \bar{b}_p)^4; & \bar{b}_{яx} &= b_{яx} / b_o;
\end{aligned}$$

Совместное решение (5) и (7) дает:

$$\begin{aligned}
A_1 m_{px}^2 + A_2 m_{px} + A_3 &= 0 \tag{8} \\
A_1 &= \phi_1'^2 B_3 - D_1 P_1^2; \\
A_2 &= \phi_1'^2 B_2 - 2M_1 D_1 P_1; \\
A_3 &= \phi_1'^2 B_1 - D_1 M_1^2; \\
D_1 &= \bar{B}_p - b_p + \bar{b}_e K_3 + \bar{b}_e \bar{h}_n K_4 + F_1 \bar{h}_n m_{pc}^2 - R; \\
P_1 &= \bar{b}_e \phi_2 + \bar{b}_e \bar{h}_n \phi_4 + \bar{h}_n F_3; \\
\phi_1' &= \bar{B}_p - b_p + \bar{b}_e K_1 + \bar{b}_e \bar{h}_n K_2 + \bar{h}_n F_4 m_{pc}; \\
F_3 &= \bar{b}_{яx} + 0.55 \bar{b}_x; \quad F_4 = \bar{b}_{яc} + 0.55 \bar{b}_c; \\
M_1 &= \bar{B}_p - \bar{b}_p + \bar{b}_e \phi_1 + \bar{b}_e \bar{h}_n \phi_3;
\end{aligned}$$

$$B_1 = \bar{B}_p - \bar{b}_p + \bar{b}_e \phi_5 + \bar{b}_e \bar{h}_n \phi_8;$$

$$B_2 = \bar{b}_e \phi_6 + \bar{b}_e \bar{h}_n \phi_9;$$

$$B_3 = \bar{b}_e \phi_7 + \bar{b}_e \bar{h}_n \phi_{10} + \bar{h}_n F_2;$$

Из уравнения (8) определяется закон изменения относительной скорости m_{px} в зоне слабозмущенного ядра вдоль области растекания на пойме с учетом частичного освоения междамбного пойменного пространства.

Для определения длины водоворотной зоны за сжатым сечением воспользуемся рекомендациями И. В. Лебедева /4/.

В области растекания увеличение ширины освоения приводит к выравниванию поля скоростей, поэтому изменяются границы гидравлических однородных зон. Согласно теории турбулентных струй /1, 6/ изменение ширины слабозмущенного ядра описывается линейной зависимостью:

$$b_{yx} = b_{yc} - Cx \quad (9)$$

Но с увеличением коэффициента освоения (Ko) угловой коэффициент C уменьшается по отношению к величине, принятой в теории турбулентных струй. М.Р.Бакиев [2] предлагает определять значение углового коэффициента по формуле:

$$C = 0.11 - 0.048Ko \quad (10)$$

На основании выполненных исследований, решение задачи расчета скоростного поля за сжатым сечением с учетом частичного освоения междамбного пойменного пространства доведено до конца.

Расчет производится в следующей последовательности: по (9..10) определяем плановые размеры потока, по (8) (5) скорость в зоне слабозмущенного ядра потока на пойме и в русле, по (1) в зоне интенсивного турбулентного перемешивания и в зоне взаимодействия руслового и пойменного потоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. М.: Физматгиз, 1960. -716с.
2. Бакиев М.Р. Совершенствование конструкций, методов расчета и проектирования регуляционных сооружений. Автореф. дисс. д.т.н. М., 1992. -55с.
3. Бакиев М.Р. Хайитов Х.Ж. Уровенный режим потока, стесненного системой дамб, расположенных на односторонней пойме. Научный вестник ФДУ № 2. 2006. 6 –9 с.
4. Лебедев И.В. Основные положения гидравлического расчета строительной компоновки гидроузлов Труды МЭИ. вып.33, 1960. -82с.
5. Михалев М.А. Гидравлический расчет потоков с водоворотом. Л.:Энергия, 1971. - 184с.
6. Стефанович Г.В. Опыт применения закономерностей расширения свободной турбулентной струи для оценки режимов течения за водовыпуском. Известия ВНИИГ, №236. Санкт-Петербург, 2000. 134-139с.