

## ПАРАМЕТРЫ ПОТОКА В ОБЛАСТИ РАСТЕКАНИЯ ПРИ ДВУХСТОРОННЕМ СТЕСНЕНИИ ПОЙМЕННЫМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ ДАМБАМИ

Бакиев М.Р., Каххаров У.А., Жахонов А.А

НИУ “Ташкентский институт инженеров  
иригации и механизации сельского хозяйства”

***Аннотация.** Интенсивное освоение плодородных пойменных земель под сельскохозяйственные цели, создание защищаемых территорий под градостроительства очень часто осуществляться с помощью двусторонних пойменных дамб.*

*В статье с позиции теории турбулентных струй дается решение задачи расширения потока за сжатым сечением, с учетом взаимодействия пойменного и руслового потоков при различной шероховатости пойм и русла. Задача отличается от ранее рассмотренных наличием двусторонней поймы, двух зон взаимодействия между русловыми и пойменными потоками, различной шероховатости на правых и левых поймах. Экспериментально установлено универсальность распределения скоростей в плане в зонах взаимодействия, а также в зонах турбулентных перемешиваний. При теоретическом решении использованы уравнения, характеризующие закон сохранения импульса в потоке и сохранения расхода*

*Предложены расчетные зависимости для определения поля скоростей и плановых размеров потока в областях растекания и восстановления.*

***Ключевые слова:** двустороннее симметричное стеснение водного потока, проектирование поперечных дамб, область сжатия, область подпора, водоворотная зона, взаимодействие пойменного и руслового потока, скорость: в русловой части, на поймах, обратных токов; длины водоворотных зон.*

***Abstract.** Intensive development of fertile floodplain lands for agricultural purposes, the creation of protected areas for urban development is very often carried out with the help of bilateral floodplain dams.*

*In the article, from the standpoint of the theory of turbulent jets, a solution is given to the problem of expanding the flow behind a compressed section, taking into*

*account the interaction of the floodplain and channel flows with different roughness of the floodplains and the channel. The problem differs from those previously considered by the presence of a two-sided floodplain, two zones of interaction between channel and floodplain flows, different roughness on the right and left floodplains. The universality of the distribution of velocities in the plan in the zones of interaction and also in the zones of turbulent mixing has been experimentally established. The theoretical solution used equations characterizing the law of conservation of momentum in the flow and conservation of flow*

*Calculation dependencies are proposed for determining the velocity field and the planned dimensions of the flow in the areas of spreading and recovery.*

**Keywords:** *bilateral symmetrical obstruction of the water flow, design of transverse dams, area of compression, backwater area, whirlpool zone, interaction of floodplain and channel flow, velocity: in the channel part, on floodplains, reverse currents; lengths of whirlpool zones.*

**Введение.** Проблемам защиты берегов рек от размыва [1] движению поводковых вод в руслах и поймах, кинематического и динамического взаимодействия русловых и пойменных потоков, учёта шероховатость и сложной морфологии поймы и русла [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] уделяется особое внимание во всем мире.

Строительство двухсторонних поперечных дамб на пойме сопровождается существенным изменением естественного потока в области сооружений, характеризующихся появлением продольного и поперечного уклонов свободной поверхности воды, перераспределение кинематических параметров потока как на пойме, так и в русле [12, 13, 14, 15, 16, 17].

**Метод.** В данной работе рассматриваются вопросы проектирования поперечных дамб, симметрично стесняющих поток. Задача отличается от ранее рассмотренных наличием двусторонней поймы, двух зон взаимодействия между русловыми и пойменными потоками, различной шероховатости на правых и левых поймах. Экспериментальные исследования проводились в русловой лаборатории кафедры «Гидротехнические сооружения и инженерные конструкции» НИУ ТИИИМСХ (рис 1.).

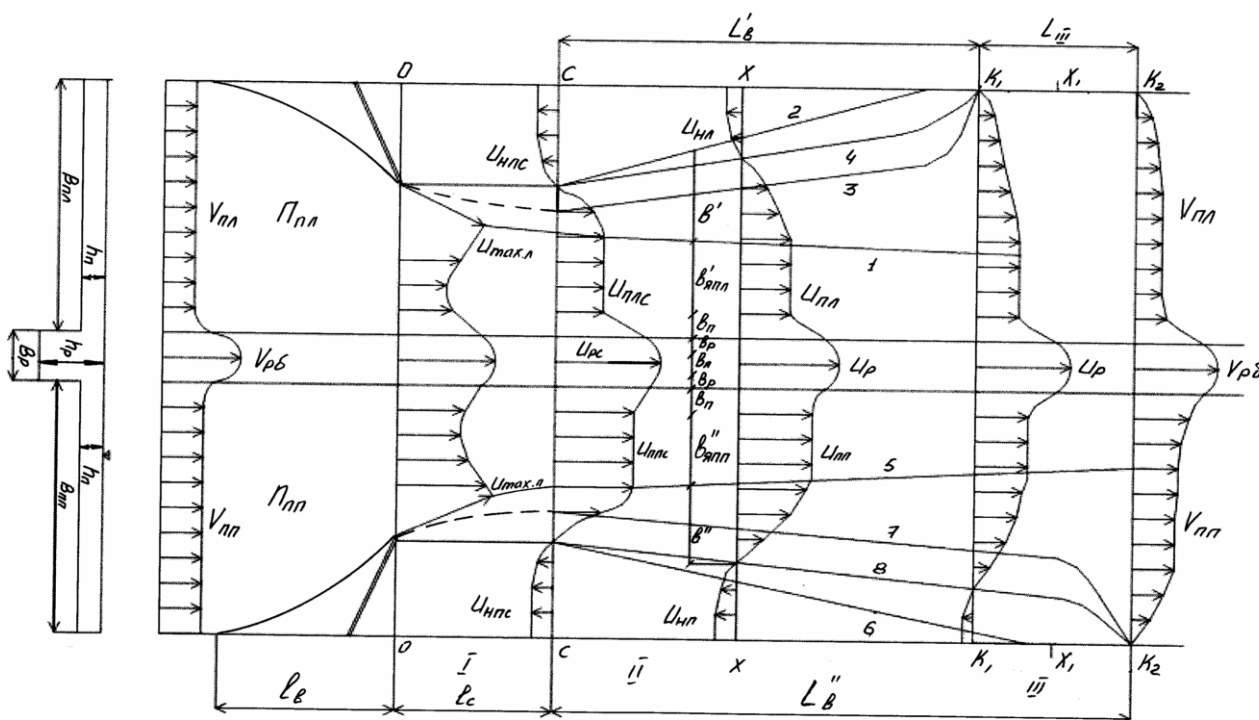


**Рис 1. Экспериментальные исследования**

Эксперименты проводились на схематизированных руслах с двусторонними симметричными поймами, когда поток заполняет всю пойму, шероховатость русла, правая и левая поймы отличаются друг от друга.

**Результаты и обсуждения.**

Анализ результатов исследований показывает о значительной деформации уровней и скоростного режима потока, формируется область подпора в верхнем бьефе  $l_6$ , области сжатия  $l_c$ , растекания  $L'_6$  и восстановления бытового режима в нижнем бьефе  $L_{III}$  (рис. 2).



**Рис.2. Схема несимметричного растекания потока, стесненного пойменными поперечными дамбами ( $n_{nl} \neq n_{nn}$ )**

Скоростное поле, также претерпевает значительные изменения по сравнению с бытовым режимом. В области подпора по приближению к створу стеснения скорости возрастают. За створом стеснения происходит плановое и вертикальное сжатия потока, распределения скоростей по ширине потока имеют значительные поперечные градиенты.

Скорости возрастают как в пределах основного русла, так и на пойменных частях потока. За сжатым сечением формируется область растекания и восстановления бытовых скоростей.

Характер распределения скоростей потока за створом стеснения близок к принятому в теории турбулентных струй распространяющегося в ограниченном пространстве [18,19,20]. Поэтому поток рассматривается состоящий из гидравлически однородных зон: а) слабовозмущенного ядра в русле и на поймах с малыми поперечными градиентами; б) турбулентного перемешивания со значительными градиентами скоростей на обеих частях поймы; в) взаимодействия руслового и пойменных потоков; г) обратных токов на защищаемых берегах.

Распределение скоростей в зонах взаимодействия руслового и пойменного потоков и турбулентного перемешивания подчиняется зависимости Шлихтинга – Абрамовича

$$\frac{\Delta U_i}{\Delta U_{0i}} = (1 - \eta^{1,5})^2 \tag{1}$$

где, избыток скорости  $\Delta U$  и относительная ордината точки  $\eta$  принимаем в зоне взаимодействия пойменного и руслового потоков:

-на левой пойме

$$\Delta U_i = U - U_{nl}; \quad \Delta U_{0i} = U_p - U_{nl}; \quad \eta = \frac{y}{e^*};$$

-на правой пойме

$$\Delta U_i = U - U_{nn}; \quad \Delta U_{0i} = U_p - U_{nn}; \quad \eta = \frac{y}{e^*};$$

в зоне турбулентного перемешивания:

-на левой пойме (между лучами 1 и 2)

$$\Delta U_i = U_{nl} - U; \quad \Delta U_{0i} = U_{nl} - U_{nl}; \quad \eta = \frac{y_6 - y}{e'}; \quad e' = e'_c + 0,27 \cdot x$$

-на правой пойме (между лучами 5 и 6)

$$\Delta U_i = U_{nn} - U; \quad \Delta U_{0i} = U_{nn} - U_{nn}; \quad \eta = \frac{y_6 - y}{e''}; \quad e'' = e''_c + 0,27 \cdot x$$

$U_p, U_{nl}, U_{nn}, U_{nl}, U_{nn}, U$  - скорости в русле, на поймах, обратных токах, в зонах взаимодействия и перемешивания;  $e', e''$  - ширина зоны турбулентного перемешивания на левой и правой поймах.

Как известно [8,12,15] ширина зоны взаимодействия зависит от соотношения глубин в русле и на поймах.

$$\frac{e^*}{h_n} = 2,4 \cdot \frac{h_p}{h_n} - 2,4 \quad (2)$$

где  $e^* = e_p + e_n$  - ширина зоны взаимодействия общая, в русле и на пойме.

$h_p, h_n$  - глубины в русле и на пойме.

В рамках проведенных исследований (симметричное стеснение и симметричные поймы) рассматриваются следующие схемы: а) когда шероховатости правой и левой поймы одинаковы, происходит симметричное растекание потока; б) когда шероховатости разные, несимметричное растекание потока. В данной статье рассматривается второй случай.

Во втором случае длины водоворотных зон различны и формируется область восстановления поля скоростей (рис.1).

Следовало установить закономерности изменения скоростей в русловой части, скоростей на поймах, скоростей обратных токов, длины водоворотных зон.

Для решения задачи использованы уравнения, характеризующие закон сохранения импульса в потоке, сохранения расхода которые для сечений C-C и X-X запишутся в виде:

$$\begin{aligned} & \rho h_{nnc} U'_{nnc}{}^2 (B_{nl} - e'_c - e'_{яnlc} - e_n) + \rho h_{nnc} \int_{y_2}^{y_1} U^2 dy + \rho h_{nnc} U_{nnc}^2 e'_{яnlc} + \rho h_{nnc} \int_0^{e_n} U^2 dy + \rho h_{pc} \int_{e_n}^{e_n+e_p} U^2 dy + \\ & + \rho h_{pc} U_{pc}^2 e_{яc} + \rho h_{pc} \int_0^{e_p} U^2 dy + \rho h_{nll} \int_{e_p}^{e_p+e_n} U^2 dy + \rho h_{nnc} U_{nnc}^2 e''_{яnn} + \rho h_{nnc} \int_{y_5}^{y_6} U^2 dy + \rho h_{nnc} U''_{nnc}{}^2 (B_{nn} - \\ & e'' - e''_{яnnc} - e_n) = \rho h_{nl} U_{nl}^2 (B_{nl} - e' - e'_{яnl} - e_n) + \rho h_{nl} \int_{y_2}^{y_1} U^2 dy + \rho h_{nl} U_{nl}^2 e'_{яnlc} + \rho h_{nl} \int_0^{e_n} U^2 dy + \\ & + \rho h_p \int_{e_n}^{e_n+e_p} U^2 dy + \rho h_p U_p^2 e_{я} + \rho h_p \int_0^{e_p} U^2 dy + \rho h_n \int_{e_p}^{e_p+e_n} U^2 dy + \rho h_{nn} U_{nn}^2 e''_{яnn} + \rho h_{nn} \int_{y_5}^{y_6} U^2 dy + \\ & \rho h_{nn} U''_{nn}{}^2 (B_{nn} - e'' - e''_{яnn} - e_n) + \gamma \frac{B_p}{2} (h_{px}^2 - h_c^2) + \gamma \frac{B_{nx}}{2} (h_{nx}^2 - h_c^2) + \gamma \frac{B_{nn}}{2} (h_{nx}^2 - h_c^2) + \\ & + \rho \int_0^x \int_0^{B_{nl}} \frac{\lambda_{nl}}{2} U^2 dy dx + \rho \int_0^x \int_0^{B_p} \frac{\lambda_p}{2} U^2 dy dx + \rho \int_0^x \int_0^{B_{nn}} \frac{\lambda_{nn}}{2} U^2 dy dx \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнение сохранения расхода для всего потока



$$\begin{aligned}
 & h_{nлс} U'_{nлс} (B_{nл} - \epsilon'_c - \epsilon'_{яnлс} - \epsilon_n) + h_{nл} \int_{y_2}^{y_1} Udy + h_{nлс} U_{nлс} \epsilon'_{яnлс} + h_{nлс} \int_0^{\epsilon_n} Udy + h_{pc} \int_{\epsilon_n}^{\epsilon_n + \epsilon_p} Udy + h_p U_{pc} \epsilon_{яс} + \\
 & + h_{pc} \int_0^{\epsilon_p} Udy + h_{nnc} \int_{\epsilon_n}^{\epsilon_p + \epsilon_n} Udy + h_{nnc} U_{nnc} \epsilon''_{яnn} + h_{nnc} \int_{y_5}^{y_6} Udy + h_{nnc} U''_{nnc} (B_{nn} - \epsilon''_c - \epsilon''_{яnnc} - \epsilon_n) = \\
 & = h_{nл} U_{nл} (B_{nл} - \epsilon'_c - \epsilon'_{яnл} - \epsilon_n) + h_{nл} \int_{y_2}^{y_1} Udy + h_{nл} U_{nл} \epsilon'_{яnлс} + h_{nл} \int_0^{\epsilon_n} Udy + h_p \int_{\epsilon_n}^{\epsilon_n + \epsilon_p} Udy + h_p U_p \epsilon_{я} + \\
 & + h_p \int_0^{\epsilon_p} Udy + h_n \int_{\epsilon_p}^{\epsilon_p + \epsilon_n} Udy + h_{nnc} U_{nnc} \epsilon''_{яnn} + h_{nnc} \int_{y_5}^{y_6} Udy + h_{nnc} U''_{nnc} (B_{nn} - \epsilon''_c - \epsilon''_{яnn} - \epsilon_n)
 \end{aligned} \tag{4}$$

Для области растекания (участок II) характерным являются  $h_n = h_{nc}$ ;  $h_p = h_{pc}$ ;  $U_{ni} = 0$  и при учёте сил трения примем средние значения скоростей на участке растекания

$$V_{nl}^* = \frac{U_{nлс} + V_{nлб}}{2}; \quad V_{nn}^* = \frac{U_{nnc} + V_{nнб}}{2}; \quad V_p^* = \frac{U_{pc} + V_{pб}}{2}; \quad \bar{V}_{nl}^* = \frac{V_{nl}^*}{U_{pc}}; \quad \bar{V}_{nn}^* = \frac{V_{nn}^*}{U_{pc}}$$

Выполняя интегрирования в первом уравнении с учётом (1,2) после некоторых преобразований, получим зависимость, для установления закономерности изменения скоростей в русле

$$\frac{U_p}{U_{pc}} = \sqrt{\frac{(0,416\bar{\epsilon}'_c \bar{h}_{nc} + \bar{h}_{nc} \bar{\epsilon}'_{яnлс}) m_{nлс}^2 - \bar{\epsilon}^* (\bar{h}_{nc} K_1 + K_2 - K_3 - \bar{h}_{nc} K_4) + \bar{\epsilon}_{яс} + (\bar{\epsilon}''_{яnnc} + (0,416\bar{\epsilon}'_c + \bar{\epsilon}'_{яnл}) \bar{h}_{nc} m_{nл}^2 - \bar{\epsilon}^* (\bar{h}_n K_5 + K_6 - K_7 - \bar{h}_{nc} K_8) + \bar{\epsilon}_{я} + + 0,416\bar{\epsilon}''_c) \bar{h}_{nc} m_{nnc}^2 - \frac{a_{nл} \xi}{2} \bar{h}_{nc} \bar{V}_{nl}^{*2} - \frac{a_p \xi}{2} \bar{V}_p^{*2} - \frac{a_{nn} \xi}{2} \bar{h}_{nc} \bar{V}_{nn}^{*2} + (\bar{\epsilon}''_{яnn} + 0,416\bar{\epsilon}''_c) \bar{h}_{nc} m_{nn}^2}{(0,416\bar{\epsilon}'_c \bar{h}_{nc} + \bar{h}_{nc} \bar{\epsilon}'_{яnлс}) m_{nлс}^2 - \bar{\epsilon}^* (\bar{h}_{nc} K_1 + K_2 - K_3 - \bar{h}_{nc} K_4) + \bar{\epsilon}_{яс} + (\bar{\epsilon}''_{яnnc} + (0,416\bar{\epsilon}'_c + \bar{\epsilon}'_{яnл}) \bar{h}_{nc} m_{nл}^2 - \bar{\epsilon}^* (\bar{h}_n K_5 + K_6 - K_7 - \bar{h}_{nc} K_8) + \bar{\epsilon}_{я} + + 0,416\bar{\epsilon}''_c) \bar{h}_{nc} m_{nnc}^2 - \frac{a_{nл} \xi}{2} \bar{h}_{nc} \bar{V}_{nl}^{*2} - \frac{a_p \xi}{2} \bar{V}_p^{*2} - \frac{a_{nn} \xi}{2} \bar{h}_{nc} \bar{V}_{nn}^{*2} + (\bar{\epsilon}''_{яnn} + 0,416\bar{\epsilon}''_c) \bar{h}_{nc} m_{nn}^2}} \tag{5}$$

Где приняты следующие обозначения

$$K_1 = \psi_1 + \psi_2 m_{nлс} + \psi_3 m_{nлс}^2$$

$$K_5 = \psi_1 + \psi_2 m_{nл} + \psi_3 m_{nл}^2$$

$$K_2 = \psi'_1 + \psi'_2 m_{nлс} + \psi'_3 m_{nлс}^2$$

$$K_6 = \psi'_1 + \psi'_2 m_{nл} + \psi'_3 m_{nл}^2$$

$$K_3 = \psi_4 + \psi_5 m_{nnc} + \psi_6 m_{nnc}^2$$

$$K_7 = \psi'_4 + \psi'_5 m_{nn} + \psi'_6 m_{nn}^2$$

$$K_4 = \psi'_4 + \psi'_5 m_{nnc} + \psi'_6 m_{nnc}^2$$

$$K_8 = \psi'_4 + \psi'_5 m_{nn} + \psi'_6 m_{nn}^2$$

$$\psi_1 = 1,5E_1^4 + 0,143E_1^7 - 0,727E_1^{5,5} - 1,6E_1^{2,5} + E_1;$$

$$\psi'_1 = 1,5(-\bar{\epsilon}_p)^4 - 1,6(-\bar{\epsilon}_p)^{2,5} - 0,727(-\bar{\epsilon}_p)^{5,5} + 0,143(-\bar{\epsilon}_p)^7 - \bar{\epsilon}_p;$$

$$\psi_2 = 1,454E_1^{5,5} - 0,286E_1^7 - 2,5E_1^4 + 1,6E_1^{2,5};$$

$$\psi'_2 = 1,6(-\bar{\epsilon}_p)^{2,5} - 2,5(-\bar{\epsilon}_p)^4 + 1,454(-\bar{\epsilon}_p)^{5,5} - 0,286(-\bar{\epsilon}_p)^7;$$

$$\psi_3 = 0,143E_1^7 - 0,727E_1^{5,5} + E_1^4 - E_1;$$

$$\psi'_3 = 0,143(-\bar{\epsilon}_p)^7 + (-\bar{\epsilon}_p)^4 - 0,727(-\bar{\epsilon}_p)^{5,5} + \bar{\epsilon}_p;$$

$$\psi_4 = 1,5(\bar{\epsilon}_p)^4 - 1,6(\bar{\epsilon}_p)^{2,5} - 0,727(\bar{\epsilon}_p)^{5,5} + 0,143(\bar{\epsilon}_p)^7 + \bar{\epsilon}_p;$$

$$\psi'_4 = 1,5E_2^4 + 0,143E_2^7 - 0,727E_2^{5,5} - 1,6E_2^{2,5} + E_2;$$

$$\begin{aligned} \psi_5 &= 1,6(\bar{\epsilon}_p)^{2,5} - 2,5(\bar{\epsilon}_p)^4 + 1,454(\bar{\epsilon}_p)^{5,5} - 0,286(\bar{\epsilon}_p)^7; & \psi'_5 &= 1,454E_2^{5,5} - 0,286E_2^7 - 2,5E_2^4 + 1,6E_2^{2,5}; \\ \psi_6 &= 0,143(\bar{\epsilon}_p)^7 + (\bar{\epsilon}_p)^4 - 0,727(\bar{\epsilon}_p)^{5,5} - (\bar{\epsilon}_p); & \psi'_6 &= 0,143E_2^7 - 0,727E_2^{5,5} + E_2^4 - E_2; \\ \psi_7 &= E_2 - 0,8E_2^{2,5} + 0,25E_2^4; & \psi'_7 &= -\bar{\epsilon}_p - 0,8(-\bar{\epsilon}_p)^{2,5} + 0,25(-\bar{\epsilon}_p)^4; \\ \psi_8 &= 0,8E_2^{2,5} - 0,25E_2^4; & \psi'_8 &= 0,8(-\bar{\epsilon}_p)^{2,5} - 0,25(-\bar{\epsilon}_p)^4; \\ \psi_9 &= \bar{\epsilon}_p - 0,8\bar{\epsilon}_p^{2,5} + 0,25\bar{\epsilon}_p^4; & \psi'_9 &= E_2 - 0,8E_2^{2,5} + 0,25E_2^4; \\ \psi_{10} &= 0,8\bar{\epsilon}_p^{2,5} - 0,25\bar{\epsilon}_p^4; & \psi'_{10} &= 0,8E_2^{2,5} - 0,25E_2^4; \\ E_1 &= (\bar{\epsilon}_p - 1); & E_2 &= (1 - \bar{\epsilon}_p). \end{aligned}$$

Выполним интегрирование в (4) и решая совместно с (3) приходим к зависимостям для оценки относительных скоростей на поймах

$$A_1 m_{ni}^2 + A_2 m_{ni} + A_3 = 0 \tag{6}$$

где для правой поймы  $m_{ni} = m_{nn}$

$$\begin{aligned} A_1 &= D_1 \bar{h}_{nc} C_8^2 - \Phi^2 M_3 \bar{h}_{nc}; & A_2 &= 2D_1 \bar{h}_{nc} C_7 C_8 m_{nl} + 2D_1 \bar{h}_{nc} C_8 (\bar{\epsilon}_y + \bar{\epsilon}^* C_9) \\ A_3 &= (D_1 \bar{h}_{nc} C_7^2 - \Phi^2 M_2 \bar{h}_{nc}) m_{nl}^2 + 2D_1 \bar{h}_{nc} C_7 (\bar{\epsilon}_y - \bar{\epsilon}^* C_9) m_{nl} + D_1 (\bar{\epsilon}_y - \bar{\epsilon}^* C_9)^2 - \Phi^2 M_1 \\ D_1 &= (0,416\bar{\epsilon}'_c \bar{h}_{nc} + \bar{h}_{nc} \bar{\epsilon}_{яплс}) m_{nnc}^2 - \bar{\epsilon}^* (\bar{h}_{nc} K_1 + \bar{\epsilon}^* K_2 - K_3 - \bar{h}_{nc} K_4) + \bar{\epsilon}_{яс} + \\ &+ (\bar{\epsilon}''_{яплс} + 0,416\bar{\epsilon}''_c) \bar{h}_{nc} m_{nnc}^2 - \frac{a_{nl} \xi}{2} \bar{h}_n \bar{V}_{nl}^{*2} - \frac{a_p \xi}{2} \bar{V}_p^{*2} - \frac{a_{nn} \xi}{2} \bar{h}_{nc} \bar{V}_{nn}^{*2} \\ \Phi &= (0,55\bar{\epsilon}'_c + \bar{\epsilon}_{яплс}) \bar{h}_{nc} m_{nnc} - \bar{\epsilon}^* C_9 + \bar{\epsilon}_{яс} + (\bar{\epsilon}''_{яплс} + 0,55\bar{\epsilon}''_c) \bar{h}_{nc} m_{nnc} \\ M_1 &= \bar{\epsilon}_y - \bar{\epsilon}^* (\bar{h}_n K_5 + K_6 - K_7 - \bar{h}_n K_8); & M_2 &= 0,416\bar{\epsilon}' + \bar{\epsilon}'_{япл}; \\ M_3 &= 0,416\bar{\epsilon}'' + \bar{\epsilon}'_{япл}; & C_7 &= 0,55\bar{\epsilon}' + \bar{\epsilon}'_{япл}; \\ C_8 &= 0,55\bar{\epsilon}'' + \bar{\epsilon}'_{япл}; & C_9 &= \bar{h}_{nc} K_9 + \bar{\epsilon}^* K_{10} - K_{11} - \bar{h}_{nc} K_{12}; \\ K_9 &= \psi_7 + \psi_8 m_{nnc} & K_{11} &= \psi_9 + \psi_{10} m_{nnc} \\ K_{10} &= \psi'_7 + \psi'_8 m_{nnc} & K_{12} &= \psi'_9 + \psi'_{10} m_{nnc} \\ a_{nl} &= \frac{\lambda_{nl} B'_{nl}}{h_{nl}}; & a_{nn} &= \frac{\lambda_{nn} B'_{nn}}{h_{nn}}; & a_p &= \frac{\lambda_p B_p}{h_p}; & \xi &= \frac{x}{\epsilon_0}; \end{aligned}$$

для левой поймы

$$\begin{aligned} A_1 &= D_1 \bar{h}_{nc} C_7^2 - \Phi^2 M_2 \bar{h}_{nc}; & A_2 &= 2D_1 \bar{h}_{nc} C_7^2 m_{nn} C_8 + 2D_1 \bar{h}_{nc} C_7 (\bar{\epsilon}_y - \bar{\epsilon}^* C_9); \\ A_3 &= 2D_1 \bar{h}_{nc} C_8 (\bar{\epsilon}_y - \bar{\epsilon}^* C_9) m_{nn} - \Phi^2 M_3 \bar{h}_{nc} m_{nn}^2 + D_1 \bar{h}_{nnc} C_8^2 m_{nn}^2 - \Phi^2 M_1 + D_1 (\bar{\epsilon}_y - \bar{\epsilon}^* C_9)^2 \end{aligned}$$

В конце большой водоворотной зоны

$$\begin{aligned} U_p &= U_{p\bar{\epsilon}}; & U_{nn} &= V_{nn}; & U_{nl} &= V_{nl}; & \xi &= \frac{x}{\epsilon_0} = \frac{L''_{\bar{\epsilon}}}{\epsilon_0} = \bar{L}''_{\bar{\epsilon}}; & x &= L''_{\bar{\epsilon}}; & h_n &= h_{n\bar{\epsilon}}; \\ h_p &= h_{p\bar{\epsilon}}; & m_{nn\bar{\epsilon}} &= V_{nn}/U_{p\bar{\epsilon}}; & m_{nl\bar{\epsilon}} &= V_{nl}/U_{p\bar{\epsilon}}; & \bar{h}_{n\bar{\epsilon}} &= h_{n\bar{\epsilon}}/h_{p\bar{\epsilon}}; & & & & \\ \epsilon_{япл} &= 0; & \bar{\epsilon}' &= \bar{B}_{nl} - \epsilon_n; & \epsilon_{яплс} &= 0; & \bar{\epsilon}'' &= \bar{B}_{nn} - \epsilon_n \end{aligned} \tag{7}$$

С учетом этих граничных условий из уравнения сохранения импульса в потоке определяем длину большой водоворотной зоны

$$\bar{L}_6'' = \left( D_1' - \frac{U_{pб}^2}{U_{pc}^2} C_{10} \right) / \left( \frac{a_{nl} \bar{h}_{nб} V_{nl}^{*2}}{2} + \frac{a_p V_p^{*2}}{2} + \frac{a_{nn} \bar{h}_{nб} V_{nn}^{*2}}{2} \right) \quad (8)$$

где

$$C_{10} = 0,416(\bar{B}_{nl} - \bar{v}_n) \bar{h}_{nб} m_{nб}^2 + \bar{v}_я - \bar{v}^* (\bar{h}_{nб} K_5 + K_6 - K_7 - \bar{h}_{nб} K_8) + 0,416(\bar{B}_{nn} - \bar{v}_n) \bar{h}_{pб} m_{nnб}^2$$

$$D_1' = (0,416 \bar{v}'_c \bar{h}_{nc} + \bar{h}_{nc} \bar{v}_{яnlc}) m_{nlc}^2 + \bar{v}_{яc} - \bar{v}^* (\bar{h}_{nc} K_1 + \bar{v}^* K_2 - K_3 - \bar{h}_{nc} K_4) + (\bar{v}''_{яnlc} + 0,416 \bar{v}''_c) \bar{h}_{nc} m_{nlc}^2$$

$$m_{nlc} = U_{nlc} / U_{pc} ; \quad m_{nnc} = U_{nnc} / U_{pc} .$$

Как видно из полученных уравнений в них три неизвестные величины  $m_{nl}$ ,  $m_{nn}$ , и  $U_p$  по этому задача в некоторой степени остаётся не определенной.

Для преодоления этой трудности предлагается решение задачи постепенным приближением.

- 1) В предположении, что обе поймы имеют одинаковую шероховатость  $n_{nl} = n_{nn} = n_n$  по зависимости (6) определяются скорости на правой пойме (где меньшая шероховатость рис.1) на обоих участках.
- 2) Затем находят скорости на левой пойме.
- 3) Из условия постоянства расхода в сжатом сечении и расчетных створах (необходимо выполнить равенство правых и левых частей уравнения) уточняют  $U_{nl}$ . Очевидным является если  $n_{nl} > n_{nn}$  или  $\lambda_{nl} > \lambda_{nn}$ , то  $U_{nl} < U_{nn}$  или наоборот  $n_{nn} > n_{nl}$  или  $\lambda_{nn} > \lambda_{nl}$ , то  $U_{nn} < U_{nl}$ .
- 4) Первоначально из условия  $n_{nl} = n_{nn} = n_n$  по (8) вычисляется при меньшем значении  $\lambda$  длина большой водоворотной зоны, а при большем значении  $\lambda$  вычисляется длина меньшей водоворотной зоны.
- 5) По (8) из условия  $n_{nl} \neq n_{nn}$  уточняется длина большой водоворотной зоны.
- 6) По (13) вычисляют длину третьего участка.

### Выводы

1. Полученные зависимости позволяют рассчитать поле скоростей, что позволит прогнозировать возможные переформирования русла и поймы после возведения сооружений. Зная длины водоворотных зон, сможем назначить расстояние между сооружениями в системе.

2. Гидравлические и геометрические параметры потока зависят от скоростей потока в начальном сечении, относительных скоростей на поймах, шероховатости, морфометрии пойм и русла, параметров зоны взаимодействия руслового и пойменных потоков, параметров поперечных дамб.



**Список литературы:**

1. Бакиев М., Алтунин С., Турсунов Т., Чориев Ж. O'zanni rostlash, Toshkent, 2011, 240 b.
2. Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. Л., Гидрометеиздат, 1981, 310с.
3. Knight D.W., Shiono K. Turbulence measurements in a shear layer region of a compound channel. Journal of hydraulic research. Vol 28, 1990, №2, p.175-196.
4. Kishanjit K.K., Kanhy Ch.Patra. Flow distribution in meandering compound channel flow. ISH Journal of Hydraulic Engineering, published online, 07 jun. 2012. p. 11-26.
5. Пагин А.О. Влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт донных наносов. Автореф.канд.диссер., Санкт-Петербург, 2008, 15с.
6. Пагин А.О., Барышников Н.Б., Неичинов К.В. Воздействие поймы на транспортирующую способность руслового потока. Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. Гидравлика гидротехнических сооружений. Том 245, Санкт-Петербург изд.ВНИИГ им Б.Е.Веденеева, 2006, с.118-128.
7. Rajaratnam N., Ahmadi R. Hydraulics of channels with flood plains. J. Hydraulic Res., 1981, vol 19 №1, p.43-60.
8. Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. Л.: Гидрометеиздат, 1984, 280с.
9. Гришанин К.В. Гидравлическое сопротивление естественных русел. С.Петербург, Гидрометеиздат, 1992, 182с.
10. Proust S., Riviere N., Bousmar D., Paquier A., Zech Y., Morel R. Flow in Compound Channel with Abrupt Floodplain Contraction. Journal of Hydraulic Engineering Vol. 132, Issue 9, September 2006.
11. Селина Т.С. Пропускная способность русел с поймами. Автореф.канд.диссер. Санкт-Петербург, 2011, 25с.
12. Абдул Карим С.Шихаб. Закономерности растекания потока за поперечной дамбой на реках с широкой поймой. Автореф. дисс. к.т.н., М.,1991, 17 с.
13. Abinash Mohanta, Khatua K.K., Patra K.C. Flow modeling in symmetrically narrowing flood plains. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), ICWRCOE, 2015, p.826-833.
14. Бакиев М.Р. Закономерности растекания потока за глухой и сквозной шпорой. Автореф.дисс. к.т.н. Ташкент., 1974, 27с.
15. Бакиев М.Р. Совершенствование конструкций, методов расчёта и проектирования регуляционных сооружений. Автореф.дисс.д.т.н., М.1992. 55с.
16. Bakiev M R Kahhorov U A 2017 *J European Science Review* 195-199.

17. Латышенков А.М. Вопросы гидравлики искусственно сжатых русел. М.: Госстройиздат, 1960, 214с.
18. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. М. Физматгиз, 1960. 716с.
19. Михалев М.А. Гидравлический расчёт потоков с водоворотом. Л.: Энергия 1971, 184с.
20. Шлихтинг Г. 1962 Теория пограничного слоя 237с
21. Н Рахматов, Х Хасанов, И Примбетов “Техническое совершенствование управления трансграничными водными ресурсами бассейна Сырдарьи” Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies (CARJIS) 2(11) 410-419
22. Kadirov, K Khasanov, “Analytical conclusions and proposals for technical condition and effective use of facilities on Tashkent magistral canal” E3S Web of Conferences 365, 03010
23. N Maalem, K Khasanov, K Nishanbaev «Morphometric elements of the channel and hydraulic flow parameters in the zone of the river backwater» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 883 (1), 012013
24. MR Bakiev, O Kadirov, K Khasanov, I Primbetov “Assessment of the risk category of a hydro scheme. case study Upper-Chirchik hydro Scheme” Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies (CARJIS) 2(8) 65-73
25. K Khasanov, M Bakiev Guidelines for determining the area and volume of a water reservoir using geographic information technologies and remote sensing, ТИАМЕ, 2019, 32p
26. МР Бакиев, НК Бабажанова, Х Хасанов “Эксплуатационная надежность и безопасность земляного плотины Туямуюнского гидроузла” Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies 2(10) 460-470
27. K Khasanov, M Bakiev “Comparison of Digital Elevation Models for Determining the Area and Volume of the Water Reservoir” International Journal of Geoinformatics 17 (1), 37-45 2021
28. K Khasanov “Evaluation of ASTER DEM and SRTM DEM data for determining the area and volume of the water reservoir” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 883 (1), 012063 2020
29. K Khojiakbar, B Masharif, C Jamshid, J Aziz, K Azat “Water reservoir area and volume determination using geoinformation technologies and remote sensing” Methods 16, 17 2019
30. N Maalem, I Begmatov, K Khasanov, U Kahharov, S Khidirov “Dynamics of hydraulic resistance in the zone of constraint of the riverbed” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 869 (4), 042012 2020
31. K Khasanov, A Ahmedov “Comparison of Digital Elevation Models for the designing water reservoirs: A case study Pskom water reservoir” E3S Web of Conferences 264, 03058