

Логинов Г.И.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЫВНОГО ТРАКТА ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ

G.I. Loginov

GROUNDS FOR THE DESIGN OF LEACHING TRACT INTAKE STRUCTURE

УДК: 629:47/58

Приводятся некоторые результаты поисковых исследований определенных в ходе физического моделирования конструкций низконапорных водозаборных сооружений и теоретический анализ уравнений количества движения двухфазных потоков жидкости (вода-велокомые наносы), которые послужили обоснованием рациональных конструкций и параметров промывных трактов.

Are some results of exploratory research identified in the course of physical modeling of structures of low-pressure water intake and theoretical analysis of the equations of motion amount of two-phase fluid flows (water-carrying pumps), which served as a substantiation of rational structures and parameters of wash tracts.

Рациональное устройство промывного тракта на низконапорных водозаборных сооружениях, эксплуатируемых при высоких процентах водозабора (при коэффициентах водозабора $\alpha \geq 0,6$), является важным условием осуществления активной защиты водоприемных элементов от наносов [1]. Промывные тракты, как правило, устраиваются в пределах концевой участка наносозащитных порогов, где наносы транспортируются на сброс в нижний бьеф водозаборного сооружения. Затворы, перекрывающие сбросное отверстие промывных трактов (промывников), входят в состав подпорных створов гидроузлов.

Ранее Б.И. Мельниковым [2] была обоснована необходимость понижения давления в придонной части промывного тракта для повышения эффективности сброса наносов. При этом возможность понижения давления определялась увеличением скорости водного потока за счет местного уменьшения глубины относительно расчетных глубин в верхнем бьефе сооружения. С целью увеличения разности глубин было предложено устройство промежуточных стенок, которые с целью понижения давления выдвигались в сторону верхнего бьефа для создания дополнительных сопротивлений.

Для определения длины промежуточных стенок рекомендовалась зависимость [2]:

$$l_{н.0} = (1,0+1,2)H_p, \quad (1)$$

где H_p - расчетная глубина воды в верхнем бьефе водозаборного сооружения.

На основании результатов поисковых исследований конструкций промывных трактов [3] нами было определено, что такой способ повышения транспортирующей способности водного потока снижает пропускную способность речного пролета гидроузла и наносозащитного порога. Это требует увеличения ширины водосливного фронта сооружения, что приводит к удорожанию строительства.

Учитывая это, нами, параллельно разработкам по наносозащитным порогам, рассматривались различные способы повышения транспортирующей способности потока воды, на участке промывного тракта, без понижения пропускной способности элементов сооружения. В частности, путем устройства дополнительных стенок и быков меньших размеров [1, 3], а также с применением усовершенствованных конструкций затворов [4].

В качестве одного из вариантов, в ходе поисковых модельных исследований, было предложено устройство горизонтального козырька на нижней кромке затвора промывного тракта. Это позволило создать понижение давления в придонном слое двухфазного потока с ускорением объемов воды под горизонтальным козырьком [4].

Ниже приведена расчетная схема свободного истечения жидкости из под горизонтального козырька, размещенного на нижней кромке затвора промывного тракта (рисунок 1).

Составляя уравнение Бернулли для сечений I-I и II-II (сжатое сечение) относительно оси сравнения 0-0 (см. рисунок 1) получим уравнение вида:

$$H_p + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{a_1 V_1^2}{2g} = ea + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{a_2 V_2^2}{2g} + h_w, \quad (2)$$

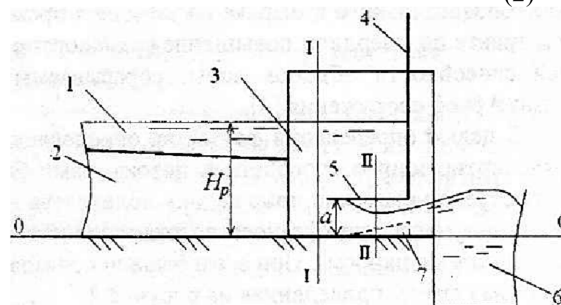


Рис. 1. Расчетная схема горизонтального козырька, устроенного на нижней кромке плоского затвора промывного тракта: 1 - верхний бьеф сооружения; 2 - наносозащитный порог; 3 - промывной тракт, 4 - плоский затвор промывного отверстия; 5 - горизонтальный козырек; 6 - отводящее русло; 7 - донная вставка с обратным уклоном поверхности.

где p_1 и p_2 - давление на свободной поверхности жидкости;

ρ - плотности жидкости;

g - ускорение свободного падения;

α_1 , и α_2 - коэффициенты, учитывающие неравномерное распределение скоростей потока в сечениях I-I и II-II соответственно;

α - величина открытия затвора промывного тракта;

ε - коэффициент сжатия струи потока при истечении жидкости из под горизонтального козырька;

$h\omega$ - потери энергии.

В результате преобразования уравнения (2) может быть получена формула для определения скорости в сжатом сечении:

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{a_1}} \sqrt{(2g(H_p - \varepsilon a - h_w) + a_1 V_1^2)}, \quad (3)$$

Вид формулы (3) дает возможность предварительного определения параметров горизонтального козырька с учетом продольных скоростей движения потока в циркуляционном вальце, транспортирующем наносы вдоль наносозащитного порога.

В ходе моделирования нами было обосновано применение нового конструктивного элемента на дне промывника под горизонтальным козырьком в виде донной вставки с обратным уклоном поверхности. Такая донная вставка 7 (см. рисунок 1) обеспечивает большее искривление струй, истекающих из-под козырька. При соприкосновении струй с нижней поверхностью козырька увеличивается эффект конического насадка. Понижение давления способствует повышению транзитных скоростей потока и увеличению объема транспорта наносов через промывной тракт. При этом для горизонтального козырька с донной вставкой уравнение (3) можно записать в следующем виде:

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{a_1}} \sqrt{2g(H_p - \varepsilon a - h_w) - a_1 V_1^2 + \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}, \quad (4)$$

Результаты лабораторных исследований устройства горизонтального козырька на затворе в промывном тракте подтвердили повышение транспортирующей способности объемов воды, сбрасываемых в нижний бьеф сооружения [4].

С целью определения факторов, определяющих транспортирующую способность потока, нами было рассмотрено уравнение приращения количества движения для массы двухфазного потока жидкости (вода - влекомые наносы). При этом была использована расчетная схема, приведенная на рисунке 2.

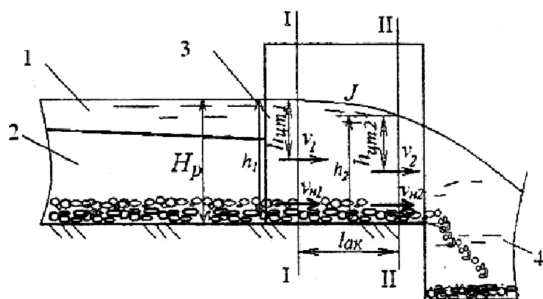


Рис. 2. Расчетная схема промывного тракта водозаборного сооружения оборудованного наносозащитным порогом: 1 - верхний бьеф; 2 - наносозащитный порог; 3 - промывной тракт; 4 - отводящее русло.

Применим к отсеку движущегося потока двухфазной жидкости, ограниченному сечениями I-I и II-II, теорему об изменении количества движения [5]. При этом количество движения двухфазного потока жидкости, протекающего через живое сечение площадью $(\omega + \omega_n)$ (где ω - площадь, соответствующая движению основного потока воды; ω_n - площадь сечения, соответствующая движению наносов), будет равно:

$$\int_{\omega} \rho(u d\omega) u + \int_{\omega_n} (\rho_n - \rho) (u_n d\omega_n) u_n = \rho a' v_1^2 \omega_1 + (\rho_n - \rho) a'' v_n^2 \omega_n, \quad (5)$$

где ρ и ρ_n - плотность воды и влекомых наносов соответственно;

α' и α'' - коэффициенты количества движения [5];

v и v_n - скорости движения воды и влекомых наносов соответственно.

Выражение приращения количества движения массы потока, сбрасываемого через промывной тракт, заключенного между сечениями I-I и II-II в единицу времени dt , относительно направлению движения, совпадающем в первом приближении с горизонтальным дном промывного тракта примет вид:

$$\Delta K_d = \rho a_2' v_2^2 \omega_2 + (\rho_n - \rho) a_2'' v_{n2}^2 \omega_{n2} - \rho a_1' v_1^2 \omega_1 - (\rho_n - \rho) a_1'' v_{n1}^2 \omega_{n1}, \quad (6)$$

Проводя дальнейшие преобразования, получим уравнение:

$$\Delta K_d = \rho a_2' Q v_2 + \rho a_1' Q v_1 - (\rho_n - \rho) a_2'' v_{n2}^2 \omega_{n2} - (\rho_n - \rho) a_1'' v_{n1}^2 \omega_{n1}, \quad (7)$$

Учитывая допущения [60], уравнение (6) приведем к виду:

$$\Delta K_d = \rho a' Q (v_2 - v_1) + (\rho_n - \rho) a'' G (v_{n2} - v_{n1}), \quad (8)$$

где G - расход наносов в промывном тракте,

далее принимая равенство: $\rho a' Q (v_2 - v_1) = P_1 - P_2$

уравнение (8) представим в виде:

$$\Delta K_d = \rho g h_{m1} \omega_1 - \rho g h_{m2} \omega_2 + (\rho_n - \rho) a'' G (v_{n2} - v_{n1}), \quad (9)$$

Разделив правую и левую часть уравнения (8) на произведение ρg получим:

$$\frac{\Delta K_d}{\rho g} = h_{m1} \omega_1 - h_{m2} \omega_2 + \frac{(\rho_n - \rho)}{\rho} a_2'' G \frac{(v_{n2} - v_{n1})}{g}, \quad (10)$$

Согласно расчетной схеме (см. рисунок 2)

$$h_{m1} = \frac{h_1}{2} = \frac{h_2 + J \times l_{ak}}{2}, \quad h_{m2} = \frac{h_2}{2}, \quad \text{а} \quad \omega_1 = h_1 b_{np} \quad \text{и}$$

$\omega_2 = h_2 b_{np}$ (b_{np} - ширина промывного тракта, согласно выполненного анализа существующих конструкций водозаборных сооружений, принимается постоянной по всей длине, т.е. призматической формы), с учетом этого уравнение (10) примет вид:

$$\frac{\Delta K_d}{\rho g} = \frac{(h_2 + J \times l_{ak})^2}{2} b_{np} - \frac{h_2^2}{2} b_{np} + \frac{(\rho_n - \rho)}{\rho} a_2'' G \frac{(v_{n2} - v_{n1})}{g}, \quad (11)$$

После преобразования получим:

$$\frac{\Delta K_d}{\rho g} = \frac{2h_2 J \times l_{ак} + (J \times l_{ак})^2}{2} b_{np} + \frac{(\rho_n - \rho)}{\rho} a_2'' G \frac{(v_{n2} - v_{n1})}{g}, \quad (12)$$

Из уравнения (12) получим формулу для определения расхода наносов:

$$G = \frac{\frac{\Delta K_d}{\rho g} - b_{np} \frac{(2h_2 J \times l_{ак} + J^2 l_{ак}^2)}{2}}{a_2'' \frac{(\rho_n - \rho)}{\rho} \frac{(v_{n2} - v_{n1})}{g}} = \frac{2\Delta K_d - \rho g b_{np} (2h_2 J \times l_{ак} + J^2 l_{ак}^2)}{2a_2'' (\rho_n - \rho) (v_{n2} - v_{n1})}, \quad (13)$$

Представленный вид уравнения (13) для определения расхода влекомых наносов, проходящих по промывному тракту, дает возможность сделать вывод, что транспортирующая способность водного потока увеличивается при росте значений изменения количества движения, и уменьшается вследствие роста следующих значений:

- ширины и глубины потока в промывном тракте,
- длины промывного тракта,

Выражая уравнение изменения количества движения относительно только водного потока, создающего движение наносных масс, с учетом действия реакции R_X , запишем $\rho a_2' Q(v_2 - v_1) = P_1 - P_2 - R_X$. При этом уравнение (13) примет вид:

$$G = \frac{\frac{\Delta K_d}{\rho g} - b_{np} \frac{(2h_2 J \times l_{ак} + J^2 l_{ак}^2)}{2} + \frac{R_X}{\rho g}}{a_2'' \frac{(\rho_n - \rho)}{\rho} \frac{(v_{n2} - v_{n1})}{g}} = \frac{\Delta K_d - 0,5 b_{np} J \times l_{ак} \rho g (2h_2 + J \times l_{ак}) + R_X}{a_2'' (\rho_n - \rho) (v_{n2} - v_{n1})}. \quad (14)$$

Знак (+) перед выражением реакции R_X свидетельствует о положительном влиянии донной вставки на увеличение транспортирующей способности потока в промывном тракте, которая при ускорении водного потока вызовет относительное уменьшение ускорения частиц влекомых наносов. В свою очередь ускорение объемов воды, увеличивающее изменение количества движения ΔK_d , в промывном тракте при устройстве донной вставки предопределено уравнением неразрывности водного потока.

Результаты предварительных экспериментальных исследований промывных трактов с устройством донной вставки свидетельствуют, что рациональная ее высота $h_{овст}$ изменяется в пределах:

$$h_{овст} = (0,25 + 0,8) H_p \quad (15)$$

Устройство козырьков на нижних кромках полотнищ затворов промывных трактов или донных вставок позволит сократить величину расходов воды затрачиваемых на сброс наносов из верхних бьефов водозаборных сооружений в отводящие русла. Это улучшит эксплуатационные характеристики водозаборных сооружений в меженные периоды эксплуатации.

Литература:

1. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны / Под ред. Н.П. Лаврова. - Б.: Салам, 2009. - 504 с.
2. Мельников Б.И. Совершенствование конструкций, методов расчетного обоснования и проектирования сооружений и их гидравлических средств автоматизации головных участков оросительных систем предгорной зоны: Автореф. дис. на соискание уч. степени доктора техн. наук. - Бишкек: КАА, 1994. - 36 с.
3. Логинов Г.И. Совершенствование водозаборных гидроузлов для целей ирригации и гидроэнергетики: Автореф. Дисс.... канд. техн. наук. - Бишкек: КАА, 2004. - 20 с.
4. Лавров Н.П., Рохман А.И., Биленко В.А., Логинов Г.И. Боковое водозаборное сооружение ковшового типа на реке Куршаб. - Бишкек: Вестник КРСУ, 2002, том 2, № 4, - С.83-85
5. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 640 с.

- плотности частиц наносов, сбрасываемых через промывной тракт;
- разности скоростей движения влекомых наносов по длине промывного тракта.

Учитывая эти факторы, определяющие транспортирующую способность потока, нами было предложено устройство на дне промывного тракта донной вставки с обратным уклоном поверхности, приведенной на рисунке 3.

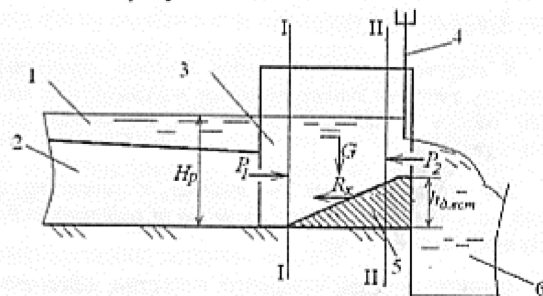


Рис. 3. Схема размещения донной вставки в промывном тракте водозаборного сооружения:
1 - верхний бьеф; 2 - наносозащитный порог; 3 - промывной тракт; 4 - затвор промывного тракта; 5 - нижний бьеф.

Рецензент: д.т.н., профессор Атаманова О.В.