

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ ВОДОЗАБОРНОГО  
СООРУЖЕНИЯ ДЕРИВАЦИОННОЙ ГЭС ИССЫК-АТА-2 В КЫРГЫЗСТАНЕ

Тип и конструкции проектируемых сооружений водозаборного гидроузла деривационной ГЭС-2 на р. Иссык-Ата приняты нами, исходя из морфометрических, гидрологических, топографических условий местности и на основе технико-экономического сопоставления вариантов. При выборе конструкции головного водозаборного сооружения нами был проведен анализ вариантов и наиболее приемлемым для высокогорного участка оказалось водозаборное сооружение для горных рек (ВСГР) конструкции КРСУ. ВСГР с боковым водоприемником расположено на вогнутом берегу криволинейного подводящего русла, с целью использования циркуляции речного потока для защиты деривации от речных наносов [1-3].

Вначале был выполнен расчет подводящего зарегулированного русла ВСГР, по эмпирической формуле А.Н. Крошкина и В.Ф. Талмазы для уклона дна русла  $i > 0,05$  рассчитываем ширину по урезу воды [1, 4, 5]:

$$B = \frac{2,6}{i^{0,2}} \left( \frac{Q_{\text{русл}}}{\sqrt{g}} \right)^{0,4}, \quad (1)$$

$q$  – постоянное число,  $q = 9,81$ ;  $Q_{\text{русл}}$  – руслоформирующий расход для горных рек.

Далее определяем среднюю глубину потока на прямолинейном участке зарегулированного русла [4, 5]:

$$H = \frac{0,3}{i^{0,02}}. \quad (2)$$

Ширина подводящего русла по дну определяем из формулы трапеции:

$$b = B - 2mH. \quad (3)$$

Средняя скорость потока в верхнем бьефе ВСГР будет равна:

$$V_{\text{русл}} = \frac{Q_{\text{русл}}}{\omega}, \quad (4)$$

где  $\omega$  – площадь живого сечения  $\omega = (B + 2mH)$ , здесь  $m$  – коэффициент заложения откосов дамб.

Глубина размыва дна у вогнутого берега подводящего русла, отсчитываемая от свободной поверхности воды по А.В. Филончикову, равна:

$$H_{\text{раз}} = CH_p, \quad (5)$$

где  $H_p$  – расчетная глубина воды в верхнем бьефе;  $C$  – коэффициент, учитывающий относительную кривизну подводящего русла  $R/B$  и заложение откосов  $m$ , определяется по таблицам 8.2 и 8.3 [4].

Строительная высота подводящего зарегулированного русла равна [1, 4]:

$$H_{\text{стр}} = H_{\text{раз}} + \Delta + \Delta H_p, \quad (6)$$

где  $\Delta$  – запас верха струенаправляющей дамбы над максимальным уровнем воды у вогнутого берега, по рекомендациям [4]  $\Delta = 0,5 \dots 0,7$  м;  $H_{\text{раз}}$  – глубина воды у вогнутого берега с учетом

размыва, по рекомендациям [4] равна  $H_{\text{раз}} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 H$ , здесь  $\varepsilon_1$  – коэффициент, учитывающий относительную кривизну русла, для принятого отношения  $R/B = 5$  по таблице 8.2 [4], принимаем  $\varepsilon_1 = 1,8$ ;  $\varepsilon_2$  – учитывает заложение откоса дамбы подводящего русла и определяется по таблице 8.3 [4], для  $m = 1$ ,  $\varepsilon_2 = 0,9$ ;  $\Delta H_p$  – запас низа дамбы от дна воронки размыва, согласно [4]  $\Delta H_p = 1,0 \dots 1,2$  м. Для проверки строительная высота может быть определена по формуле  $H_{\text{стр}} = H_{\text{рmax}} + \Delta$ , где  $H_{\text{рmax}}$  – максимальный напор над гребнем порога речного пролета.

Диаметр камня для крепления откоса из условия устойчивости на размыв должен быть не менее величины [4, 5]:

$$d = 0,04 V_{\text{русл}}^2. \quad (7)$$

Далее выполняем расчет и компоновку элементов водозаборного сооружения для горной реки Иссык-Ата.

Значение средней высоты наносозащитного порога со стороны верхнего бьефа  $P_{\text{ср}}$  равно:

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2}{2}. \quad (8)$$

$P_1$  – высота наносозащитного порога в начале;  $P_2$  – высота порога в конце.

Длина наносозащитного порога  $L_{\text{п}}$  может быть определена из формулы расхода неподтопленного водослива практического профиля:

$$L_{\text{п}} = \frac{Q}{\sqrt{2g} m_{\text{п}} H_{\text{пн}}^{1,5}}, \quad (9)$$

где  $Q$  – расход водозабора в деривацию, который складывается из расхода турбин малой ГЭС, равного  $Q_{\text{т}} = 2,25$  м<sup>3</sup>/с и потерь на фильтрацию в деривационном канале  $Q_{\text{ф}} = 0,1$ ,  $Q_{\text{т}} \approx 0,25$  м<sup>3</sup>/с [1, 3]. Таким образом, расход водозабора  $Q = Q_{\text{т}} + Q_{\text{ф}} = 2,25 + 0,25 = 2,5$  м<sup>3</sup>/с;  $m_{\text{п}}$  – коэффициент расхода ломаного в плане наносозащитного порога с наклонным гребнем, по данным исследований Г.И. Логинова [4, 6], определяется по эмпирической формуле:

$$m_{\text{п}} = 0,31 + 0,0601 \left( \frac{H_{\text{н.п}}}{C_{\text{н.п}}} - 0,867 \right), \quad (10)$$

где  $H_{\text{н.п}}$  и  $C_{\text{н.п}}$  – соответственно, напор и толщина стенки наносозащитного порога ломаного очертания.

Ширину речного (сбросного) пролета определяем из формулы водослива с широким порогом:

$$B_{\text{рп}} = \frac{Q_{\text{рп}}}{m_{\text{рп}} \sqrt{2g H_{\text{рmax}}^{1,5}}}, \quad (11)$$

где  $m_{\text{рп}}$  – коэффициент расхода водослива с широким порогом (без порога), определяется на основании экспериментов средняя величина  $m_{\text{рп}} = 0,35$  [4, 5];  $H_{\text{рmax}}$  – максимальный напор над гребнем порога речного пролета при пропуске паводка. По результатам экспериментальных исследований Логинова [6], принимаем  $H_{\text{рmax}} = 2,4$  м;  $Q_{\text{рп}}$  – максимальное значение расчетного расхода речного пролета, определяется из уравнения баланса расходов ВСГР:

$$Q_{\text{рп}} = Q_{1\%} - Q_{\text{нп}} - Q_{\text{пр}} - Q_{\text{ав}}, \quad (12)$$

$Q_{1\%}$  – паводковый расход 1% обеспеченности, согласно гидрологическим данным [3], равный  $Q_{10\%} = 40,8$  м<sup>3</sup>/с;  $Q_{\text{нп}}$  – расход воды, проходящий через ломаный в плане наносозащитный порог в водоприемную камеру и далее в деривацию, т.е.  $Q_{\text{нп}} = Q = 2,5$  м<sup>3</sup>/с;  $Q_{\text{пр}}$  – расход воды, сбрасываемый при паводке в нижний бьеф через промывной тракт;  $Q_{\text{ав}}$  – расход воды, сбрасываемый в нижний бьеф при максимальном напоре над автоводосливом.

Максимальное значение открытия затвора зимнего водозабора принимается равным [4, 6]:

$$a_{\text{зв}} = 0,43 H_p = 0,43 \cdot 1,85 = 0,8 \text{ м}. \quad (13)$$

Ширину донного отверстия зимнего водозабора определим по эмпирической формуле:

$$b_{\text{зв}} = \frac{4,67 Q_{\text{зв}}}{\sqrt{2g H_p^{1,5}}}, \quad (14)$$

где  $Q_{\text{зв}}$  – расход зимнего водозабора, равный расходу деривации, т.е.  $Q_{\text{зв}} = Q = 2,5$  м<sup>3</sup>/с;  $H_p$  – расчетный напор в верхнем бьефе ВСГР,  $H_p = 1,85$  м.

Расчет водобоя и крепления нижнего бьефа водозаборного сооружения является заключительной частью выполняемого расчета ВСГР.

В соответствии рекомендациями [4, 5] высота противофильтрационного зуба флютбета  $T$  определяется по формуле:

$$T = \Delta P + t_{cp} + \Delta Z, \quad (15)$$

где  $\Delta Z$  – запас крепления;  $\Delta Z = 1,0 \dots 1,8$  м;  $\Delta P$  – высота уступа от верха порога речного пролета до уровня дна нижнего бьефа;  $\Delta P = 1,2 \dots 1,5$  м, принимаем  $\Delta P = 1,5$  м.

Высота зуба на входе, в начале флютбета по данным [4, 5] принимается

$$T_{вх} = (0,2 \dots 0,5)T.$$

Средняя глубина воронки размыва  $t_{cp}$  в соответствии с [4, 5]:

$$t_{cp} = t_{пр} \lambda, \quad (16)$$

где  $\lambda$  – относительный удельный расход воды через речной пролет,  $\lambda = \left(\frac{q_{max}}{q_0}\right)^{2/3}$ ;  $q_{max}$  – максимальный удельный расход речного пролета при паводке,  $q_{max} = \frac{Q_{1\%}}{B_{рп}}$ ;  $q_0$  – эксплуатационный расход речного пролета,  $q_0 = \frac{Q_{1\%} - Q}{B_{рп}}$

Длина крепления ковша котлована в нижнем бьефе за вертикальным зубом:

$$L_{кр} = L_{пр} \lambda, \quad (17)$$

$L_{п.р.}$  – проектная длина крепления, для горизонтального водоската.

Таким образом, общая длина водобоя и крепления нижнего бьефа ВСГР будет равна:

$$L_{общ} = L_1 + L_2 + L_{кр}. \quad (18)$$

$L_1$  – длина входной наклонной части водобоя;  $L_2$  – длина горизонтальной части водобоя.

Результаты расчетов размеров водозаборного сооружения сведем в таблицу 1.

Таблица 1

Основные размеры элементов ВСГР деривационной ГЭС Иссык-Ата-2

$b$ , м	$H_{раз}$ , м	$H_{стр}$ , м	$P_1$ , м	$P_2$ , м	$L_{п.р.}$ , м	$B_{рп}$ , м	$b_{зв}$ , м	$T$ , м	$T_{вх}$ , м	$L_{кр}$ , м	$L_{общ}$ , м
8,8	1,62	3,3	1,85	1,2	7,6	4,6	1,0	4,2	1,7	4,5	14,0

**Выводы.** В приведенном расчете получены расходные и напорные характеристики, а также основные строительные размеры подводящего зарегулированного русла, водобоя и крепления нижнего бьефа Водозаборного сооружения для деривационной ГЭС-2 на р. Иссык-Ата. В расчете учтены конструктивные особенности ВСГР, его отличие от аналогов.

Выполнив физическую модель ВСГР данной компоновки и размеров, можно проверить, обеспечивает ли эта конструкция стабильный расход воды в деривационный канал, достаточно эффективно защищает от наносов и ледошуговых образований, гарантирует ли беспрепятственный пропуск в нижний бьеф паводковых расходов и излишков воды.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Абдылдаев Э.А., Алиев Д.У., Лавров Н.П. Конструкция, расчетное обоснование и элементы исследования водозаборного сооружения деривационной ГЭС. Проект на IX Всероссийский конкурс студенческих проектов «Энергия развития». – М.: Русгидро, 2018. – 23 с.
2. Абдылдаев Э.А., Лавров Н.П. Особенности технологии водозабора и конструкции водозаборного сооружения деривационной ГЭС Иссык-Ата-2 в Кыргызстане // НПК. ИСИ. Каф. ВиГС. 2017. С. 125-128.
3. Лавров Н.П., Логинов Г.И. Проектирование гидросооружений деривационной ГЭС и подбор основного силового оборудования. – Бишкек: КРСУ, 2008. – 112 с.
4. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны/ Под ред. Н.П. Лаврова. – Бишкек: Изд. дом «Салам», 2009. – 504 с.
5. Логинов Г.И. Гидравлические процессы при водозаборе из малых горных рек. – Бишкек: Изд. «Кут-Бер», 2014. – 320 с.