

УДК 627.83(575.2)  
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-8-82-89

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ НА РЕКЕ АК-СУУ

*Н.У. Кайыпова, Б.А. Ботоканова, А.К. Шабданов*

*Аннотация.* Рассматривается проектирование водозаборного гидроузла сооружения. В результате гидрологических расчетов были построены кривые обеспеченности годового стока по минимальным, средним и максимальным расходам. Получены расходы воды 1, 10 %-ной обеспеченности для расчета водозаборного сооружения на пропускную способность. Выполнен расчет элементов водозаборного сооружения, стабилизатора расхода вод, авторегулятора уровня воды. В результате приняты конструкции и обоснование средств гидравлической автоматизации водозаборного гидроузла. Учитывая достоинства и недостатки существующих затворов-автоматов уровня верхнего бьефа, которые устраиваются на речных пролетах водозаборных сооружений, приняты конструктивные решения автоматизации круглогодичного водоотбора из рек горно-предгорной зоны.

*Ключевые слова:* водозаборные сооружения; затвор-автомат; гидроузел; стабилизатор расхода воды; кривая обеспеченности стока воды.

---

## АК-СУУ ДАРЫЯСЫНДАГЫ СУУ АЛУУЧУ КУРУЛМАНЫ ДОЛБООРЛООДОГУ ТЕХНОЛОГИЯЛЫК НЕГИЗДЕМЕ

*Н.У. Кайыпова, Б.А. Ботоканова, А.К. Шабданов*

*Аннотация.* Макалада суу алуучу курулманын гидротүйүндөрүн долбоорлоо каралат. Гидрологиялык эсептөөлөрдүн натыйжасында минималдуу, орто жана максималдуу чыгымдар боюнча жылдык агымды камсыз кылуунун ийри сызыктары курулган. Суу алуучу курулманы өткөрүү жөндөмдүүлүгүн эсептөө үчүн 1, 10% камсыз болгон суунун чыгымдары алынган. Суу алуучу конструкциянын, суунун чыгымын турукташтыргычтын, суунун деңгээлин автоматтык жөнгө салгычтын элементтерин эсептөө жүргүзүлдү. Натыйжада суу алуучу гидротүйүндүн гидравликалык автоматташтыруу каражаттарынын конструкциялары жана негиздемелери кабыл алынды. Суу алуучу курулмалардын дарыя жээгинде орнотулган жогорку бассейндин деңгээлинде иштеп жаткан автоматтык дарбазалардын артыкчылыктарын жана кемчиликтерин эске алуу менен, тоолуу, тоо этектериндеги дарыялардан жыл бою суу алууну автоматташтыруу боюнча конструктивдүү чечимдер кабыл алынган.

*Түйүндү сөздөр:* суу алуучу курулмалар; автоматтык жапкыч; гидротүйүндөр; суу агымын турукташтыргыч; суунун агымынын ийри сызыгы.

---

## TECHNOLOGICAL RATIONALE FOR THE DESIGN OF A WATER INTAKE STRUCTURES ON THE AK-SUU RIVER

*N.U. Kaiypova, B.A. Botokanova, A.K. Shabdanov*

*Abstract.* The article focuses on the design of a water intake hydroelectric facility. As a result of hydrological calculations, the curves of annual runoff availability for minimum, average and maximum discharges were constructed. Received water flow rates of 1%, 10% security for the calculation of the water intake facility for throughput. The calculation of the elements of the water intake structure, the water flow stabilizer, the water level autoregulator was carried out. As a result of the study, the designs and justification of the means of hydraulic automation of the water intake hydroelectric complex were adopted. On the basis of the advantages and disadvantages of the existing gate-automats of the upstream level, arranged on the river spans of water intake hydraulic structures, constructive solutions were adopted for the automation of year-round water withdrawal from the rivers of the mountain-foothill zone.

*Keywords:* water intake structure; automatic gate; waterworks; water flow stabilizer; water runoff availability curve.

Река Ак-Суу берет начало из ледников северного склона Кыргызского хребта и находится на абсолютной отметке более 4000 м н.у.м., средняя высота водосбора составляет 2940 м. Длина реки до створа водозаборного сооружения составляет 33 км [1].

Максимум паводка приходится на июль-август месяцы и достигает среднего расхода 40 м<sup>3</sup>/с. Максимальный расчет 1 %-ной обеспеченности составляет 52,72 м<sup>3</sup>/с, а руслоформирующий 10 %-ной обеспеченности – 35, 48 м<sup>3</sup>/с. Река селеопасная, сели имеют водокаменный характер. По типу питания река Ак-Суу относится к группе рек ледниково-снегового питания, в зимний период на реке происходят ледообразовательные и шуговые процессы [2]. В результате наблюдений был установлен циклический характер колебаний годового стока, который выражается в последовательной смене многоводных и маловодных лет.

На рисунке 1 показан общий вид головного водозаборного сооружения на р. Ак-Суу.

Приведем последовательность гидрологических расчетов внутригодового распределения стока и определения обеспеченных расходов воды [3].

Норму годового стока определяют как среднеарифметическое значение годовых стоков:

$$Q_n = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (1)$$

где  $Q_n$  – норма годового стока;  $Q_i$  – годовые значения стока  $n$  лет. Наблюдения, проводили на гидропосте реки Ак-Суу.

Согласно теории ошибок, величина годового стока  $\sigma_{Qn}$  за  $n$  лет отличается от истинной нормы  $Q_n$  за  $N$  лет, когда  $N \rightarrow \infty$  и будет равна:

$$\sigma_{Qn} = \pm \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_Q$  – среднее квадратическое отклонение единичных значений годового стока  $Q_i$  от среднего за  $n$  лет,  $\sigma_Q$  определяется по формуле:

$$\sigma_Q = \pm \sqrt{\frac{\sum (Q_i - Q_{on})^2}{n - 1}}. \quad (3)$$



Рисунок 1 – Головное водозаборное сооружение на р. Ак-Суу

Для установления эмпирической обеспеченности членов ограниченного ряда использовали формулу по С.Н. Крицкому:

$$P = (m - \alpha) / (n - 1 - 2\alpha) \times 100\%, \quad (4)$$

где  $m$  – порядковый номер члена ряда, в котором значения рассматриваемой величины расположены в убывающем порядке;  $n$  – число членов ряда;  $\alpha$  – параметр, который может изменяться от 0 до 1 [4].

Для построения эмпирической кривой обеспеченности использовали среднегодовой расход воды за период наблюдения многолетних данных в логарифмической шкале. По результатам максимальных, минимальных и среднего годового расхода воды, была построена эмпирическая кривая (рисунки 2–4), и к ней была подобрана теоретическая кривая [5].

Расчетный напор водозаборного сооружения  $H_p$  в верхнем бьефе определяли из следующих условий:

- регулирование динамики русловых потоков над отводящим деривационным каналом;
- обеспечение пропуска паводковых расходов из верхнего бьефа в нижний.

Ломаный в плане наносозащитный порог состоит из трех секций: а, б, с. Плановые размеры передней секции «а» определяются из условия [6, 7]:

$$a = \sin \phi' R_{n,n}; \quad a = \sin 45^\circ \times 12.27, \quad (5)$$

где  $\phi'$  – предельный угол закругления дуги хордой которой является секция «а» принимается от  $45^\circ$  до  $70^\circ$ ;  $R_{n,n}$  – радиус закругления дуги определяли по зависимости:

$$R_{n,n} = d \cdot R_{\min}, \quad (6)$$

где  $d$  – коэффициент, равный отношению ширины бытового русла реки  $B_\sigma$  при прохождении расхода  $Q_{\min}$  к ширине потока в зарегулированном подводящем русле  $B$ :

$$d = \frac{B_\sigma}{B} = 0.45; \quad B_\sigma = \frac{2,6}{i_p^{0,2}} \left( \frac{Q_{p,\sigma}}{\sqrt{g}} \right)^{0,4}, \quad (7)$$

где  $Q_{p,\sigma}$  – минимальный расчетный расход воды в реке, который обеспечивается при коэффициенте водозабора  $a = 0.9$  в летний период эксплуатации.

$$Q_{p,\sigma} = \frac{Q}{0.9}, \quad (8)$$

где  $Q$  – расход, подаваемый в деривацию;  $R_{\min}$  – радиус закругления криволинейного участка бытового русла реки при прохождении расхода  $Q_{p,\sigma}$ .

$$R_{\min} = \frac{3}{i_p^{0,5}} \cdot \left( \frac{Q_{p,\sigma}}{\sqrt{g}} \right)^{0,4}. \quad (9)$$

Угол между начальной секцией порога «а» и динамической осью потока в подводящем русле определяли по формуле [8] (рисунок 4):

$$a = 23.2 + 269i = 30^\circ \quad (10)$$

Длины средних секций «б», «с» и концевой «д» определяли из соотношений:

$$c = (1.0 \div 1.2)H_p, \quad (11)$$

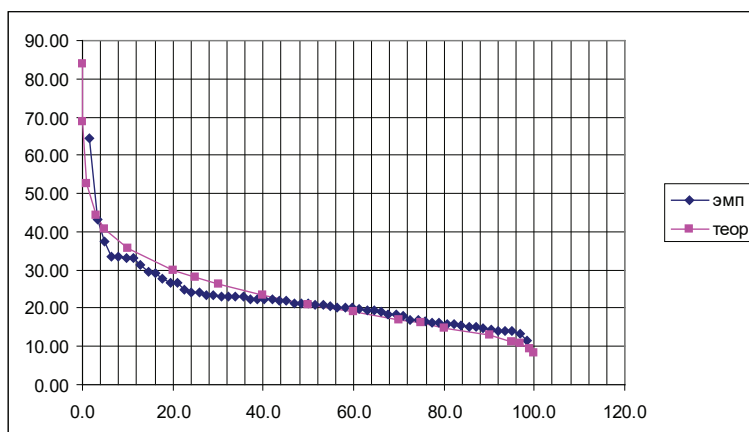


Рисунок 2 – Эмпирическая и теоретическая кривые по максимальным расходам воды

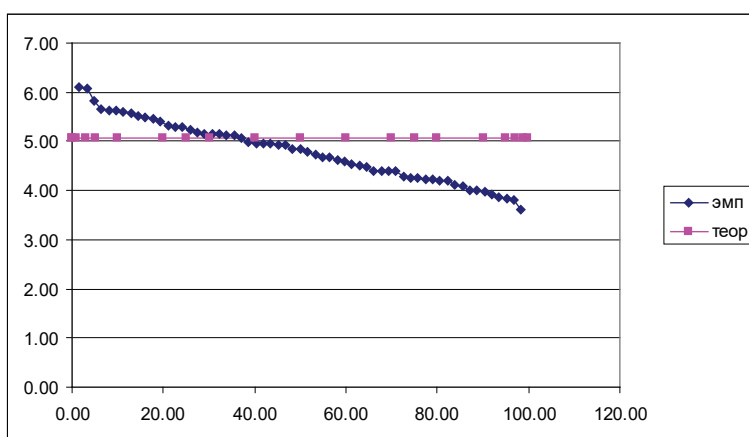


Рисунок 3 – Эмпирическая и теоретическая кривые по средним расходам воды

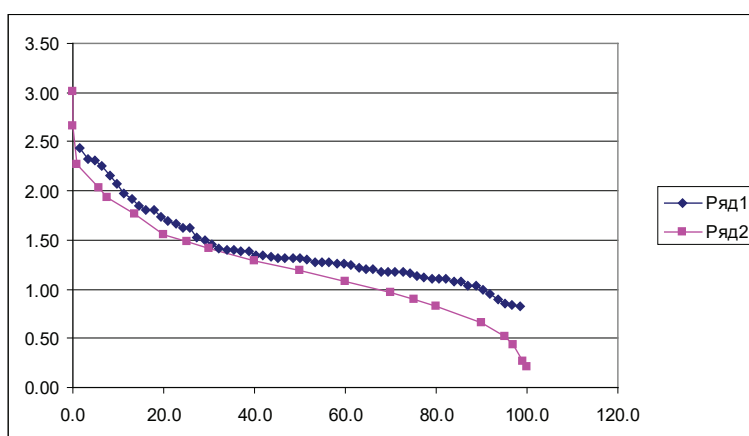


Рисунок 4 – Эмпирическая и теоретическая кривые по минимальным расходам

где  $H_p$  – нормальный расчетный напор в верхнем бьефе водозаборного гидроузла, в первом приближении может быть определен по формуле:

$$H_p = P_2 + H_2, \quad (12)$$

где  $P_2$  – высота порога в концевой [9]:

$$P_2 = 0.5H_p, \quad (13)$$

где  $H_2$  – напор воды над концевым участком порога:

$$H_2 = 2H_{н.н.}, \quad (14)$$

где  $H_{н.н.}$  – напор над средним сечением усовершенствованного ломаного в плане наносозащитного порога  $Q$ .

Напор над средним сечением ломаного в плане наносозащитного порога  $H_{н.н.}$  определяли в зависимости от расхода, подаваемого в деривационный канал по формуле водослива с тонкой стенкой [10]:

$$H_{н.н.} = 0.217Q^{0.3687}, \quad (15)$$

где угол  $\alpha$  – заданное значение угла поворота концевой секции ломаного в плане наносозащитного порога, равного 45 град. [10, 11].

Затем определяли общую длину наносозащитного порога:

$$L = \frac{Q}{m_{н.н.} \sqrt{2gH_{н.н.}^{3/2}}}, \quad (16)$$

где  $m_{н.н.}$  – коэффициент расхода ломаного в плане наносозащитного порога [11]:

$$m_{н.н.} = 0.31 + 0.0601 \left( \frac{H_{н.н.}}{C_n} - 0.867 \right), \quad (17)$$

где  $i_n$  – уклон гребня порога может изменяться в пределах (0.06 ÷ 0.08) м, был нами принят равным 0,0624.

Тогда длина секции:

$$b = L - a - c - d. \quad (18)$$

Наполнение в верхнем бьефе с учетом скорости подхода воды будет равно:

$$H_0 = H_{p, \max} \frac{\alpha_0 \cdot V_{русл}^2}{2g}, \quad (19)$$

где  $\alpha_0$  – коэффициент кинетической энергии для турбулентного потока (1.05 ÷ 1.1).

Строительную высоту элементов водозаборного сооружения определяли из зависимости:

$$H_{стр} = H_{p, \max} + a_c, \quad (20)$$

где  $a_c$  – строительный запас принимался в пределах от 0,5 до 0,7 м.

Таким образом, искомая величина:  $H_{стр} = 3.4$  м [11].

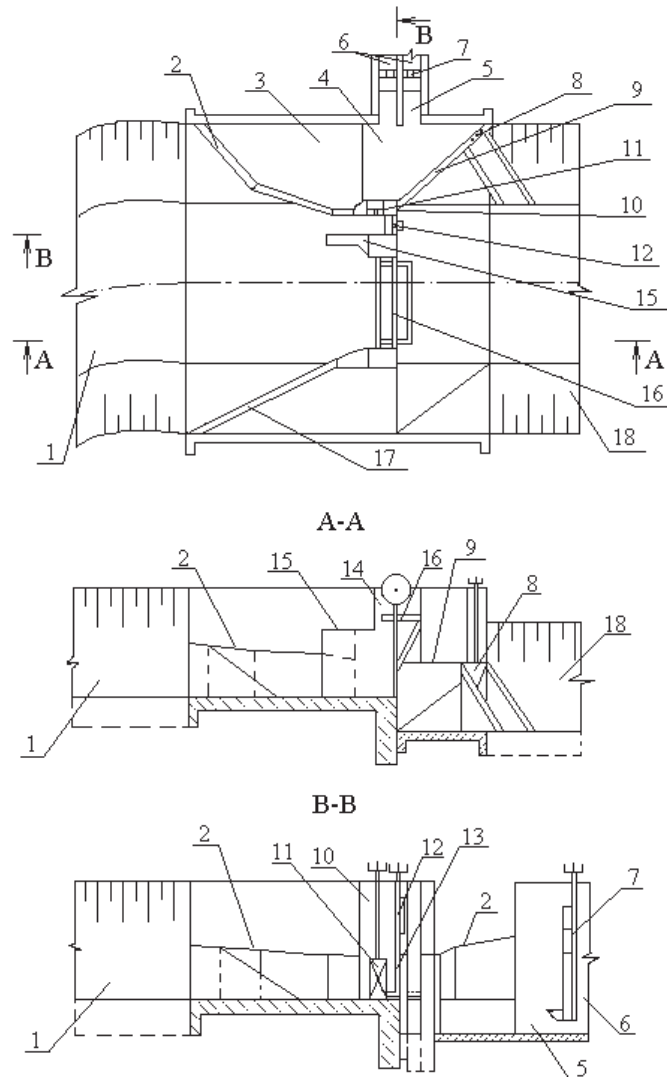


Рисунок 5 – Компонировочная схема автоматизированного водозаборного гидроузла с заглубленным под уровень верхнего бьефа промежуточным бычком: 1 – верхнее зарегулированное русло; 2 – ломаный в плане и по вертикали наносозащитный порог; 3 – верхний ярус водоприемной камеры; 4 – нижний ярус водоприемной камеры; 5 – входной оголовок водоприемника; 6 – отводящие каналы; 7 – стабилизатор расхода воды; 8 – затвор для опорожнения водоприемной камеры; 9 – автоматический водослив; 10 – разделительная стенка; 11 – щитовое отверстие зимнего водозабора; 12 – верхнее полотнище сдвоенного затвора; 13 – нижнее полотнище сдвоенного затвора; 14 – повышенная часть промежуточного бычка; 15 – заглубленная часть промежуточного устоя; 16 – затвор-автомат уровня верхнего бьефа; 17 – катастрофический водослив; 18 – зарегулированное отводящее русло

Исходя из технических условий и требований, предъявляемых к водозаборным гидроузлам, анализа работы существующих водозаборных гидроузлов, учитывая современные разработки и предложения по их совершенствованию с максимальным использованием водно-энергетических ресурсов на участках рек горно-предгорной зоны, увеличения коэффициента водозабора были разработаны их компоновочные схемы. За основу принимались такие условия, как: управление потоком, наносами, плавающим мусором и ледовошуговыми образованиями посредством элементов гидроузла и средств автоматизации [11].

Компоновочная схема автоматизированного водозаборного гидроузла с заглубленным под уровень воды в верхнем бьефе промежуточным устоем с постоянным промывом наносов и сбросом ледовошуговых образований в нижний бьеф приведена на рисунке 5.

Обобщая достоинства и недостатки существующих затворов-автоматов уровня верхнего бьефа, устраиваемых на речных пролетах водозаборных гидросооружений, следует отметить, что в настоящее время практически отсутствуют конструктивные решения, которые в полной мере удовлетворяют основным техническим условиям и требованиям автоматизации круглогодичного водоотбора из рек горно-предгорной зоны. Это обуславливает необходимость создания и разработку новых технических средств, способных повысить надежность их работы, расширить функциональные возможности и область применения [12].

Таким образом, основной целью данной работы было обеспечение орошаемых земель рассматриваемого района необходимым количеством воды, а также борьба с наносами, которые попадают в ирригационный канал, тем самым разрушая его.

Для решения поставленных задач авторами было предложено водозаборное сооружение, основными требованиями которого являются:

- четкое выполнение графика водоподачи;
- предохранение канала от попадания в него влекомых наносов, плавающих тел и т. д.;
- беспрепятственный пропуск паводковых и ливневых расходов;
- прекращение поступления воды в канал на случай ремонта или осмотра;
- обеспечение командования над орошаемой площадью;
- обеспечение забора воды в меженный период;
- обеспечение средствами автоматизации четкого режима орошения;
- обеспечение промыва отложившихся наносов из верхнего бьефа в нижний бьеф сооружения.

В процессе работы были проведены гидрологические и гидравлические расчеты, на основании которых определены геометрические параметры элементов водозаборного сооружения.

Принятая конструкция затвора-автомата уровня верхнего бьефа (рисунок 5) относится к прислонным затворам и защищена Предварительным Патентом Кыргызской Республики № 524 от 31.07.02 г. автором, д-ром техн. наук профессором Г.И. Логиновым.

Поступила: 11.04.23; рецензирована: 25.04.23; принята: 28.04.23.

#### *Литература*

1. Климат Кыргызской ССР / под ред. З.А. Рязанцевой. Фрунзе: Илим, 1965.
2. Фролова Г.П. Методические указания для выполнения практических работ по дисциплине «Гидрология и гидрометрия» / Г.П. Фролова, Н.В. Ершова. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2019. 5 с.
3. Евстигнеев В.М. Практические работы по курсу «Речной сток и гидрологические расчеты»: учеб. пособие / В.М. Евстигнеев, Д.В. Магрицкий. 3-е изд. М.: Геогр. фак-т МГУ, 2013. 108 с.
4. Маковский Э.Э. Автоматизированные автономные системы трансформации неравномерного стока / Э.Э. Маковский, В.В. Волчкова. Фрунзе: Илим, 1981. 371 с.
5. Филончиков А.В. Проектирование автоматизированных водозаборных узлов на горных реках / А.В. Филончиков. Фрунзе, 1990. 376 с.

6. *Логинов Г.И.* Исследование истечения через ломаный в плане наносозащитный порог на водозаборных гидроузлах предгорной зоны / Г.И. Логинов, Е. Саркынов // Исследования, результаты КНАУ. Алматы. 2003. № 3, 4. С. 47–51.
7. *Логинов Г.И.* Гидравлические процессы при водозаборе из малых горных рек / Г.И. Логинов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 194 с.
8. *Логинов Г.И.* Совершенствование водозаборных гидроузлов ирригационно-энергетического назначения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Бишкек, 2004. 36 с.
9. Гидротехнические сооружения / под ред. Н.П. Розанова. М.: Агропромиздат, 1985. 432 с.
10. СНиП 2.06.01–86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. 32 с.
11. *Лавров Н.П.* Водозаборное сооружение для деривационной ГЭС на р. Иссык-Ата / Н.П. Лавров, Г.И. Логинов, М.К. Торопов // Гидротехническое строительство. 2008. № 12. М.: НТФ «Энергопрогресс». С. 5–9.
12. *Кайыпова Н.У.* Технические и технологические требования к средствам гидравлической автоматизации на водозаборных сооружениях из малых горных рек / Н.У. Кайыпова // Водоочистка. 2018. № 5. С. 49–56.