

УДК 627.841

## НАПОРНЫЕ БАСЕЙНЫ ДЕРИВАЦИОННЫХ МАЛЫХ ГЭС

*Рустамбек уулу Абдиназар, К.Т. Шакитов*

Приводятся основные технологические операции, выполняемые напорными бассейнами в составе малых ГЭС. Описаны известные конструкции напорных бассейнов, применяемых на малых ГЭС. Рекомендована конструкция напорного бассейна для устройства на гидроэнергетическом узле на реке Усек.

*Ключевые слова:* напорный бассейн; малые ГЭС; деривация; аванкамера; водоприёмник; шугосброс; катастрофический водослив; промывная галерея.

---

## PRESSURE SWIMMING POOLS OF DERIVATIVE SMALL HYDROELECTRIC POWER STATIONS

*Rustambek uulu Abdinazar, K.T. Shakitov*

The main technological operations performed by pressure swimming pools within small hydro power stations are given. The known designs of pressure basins used at small HPPs are described. The design of the pressure basin for the device at the hydropower unit on the Usek River is recommended.

*Keywords:* pressurized swimming pool; small hydropower plants; derivation; forehead; water intake; shugosbros; catastrophic weir; washing gallery.

Использование гидроэнергетического потенциала горно-предгорных участков рек сопряжено с устройством деривационных схем создания напора на ГЭС. При этом, как правило, на малых ГЭС устраивается открытая деривация с напорными бассейнами в конце деривационного канала [1].

Напорные бассейны сопрягают безнапорную деривацию с турбинными трубопроводами. В системе водопроводящих сооружений они входят в состав напорного стационарного узла гидростанции и выполняют следующие технологические операции [1]:

- 1) направление расхода воды из деривации в турбинный трубопровод и равномерное распределение его между отдельными нитками;
- 2) задержание плавучего сора, поступившего в деривацию по пути ее следования с прилегающих склонов;
- 3) выключение турбинного трубопровода в случае аварии с ним и на период его ремонта;
- 4) сброс излишка воды через холостой водосброс при несаморегулирующейся деривации, в целях ограничения подъема уровня в ней;
- 5) защита входной части трубопровода в зимний период от засорения и завала шугой и льдом.

В общем случае напорный бассейн состоит из нескольких водоприемных камер, аванкамеры и холостого водосброса (рисунок 1) [2].

На напорных бассейнах, устанавливаемых в конце саморегулирующихся каналов, холостой водосброс не устраивают.

Водоприемные камеры являются основной частью напорного бассейна. В них располагается все оборудование, предназначенное для управления потоком воды, и к ним присоединяются трубопроводы, питающие турбины. С верховой стороны водоприемные камеры примыкают к аванкамере, а с низовой – ограничиваются так называемой напорной стенкой, в которую заделываются оголовки трубопроводов.

Количество камер в напорном бассейне делают равным числу ниток в турбинном трубопроводе. Смежные камеры отделяют друг от друга промежуточным бычком. Каждую камеру оборудуют щитовым затвором, сороудерживающей решеткой и шандорами.

Ширина водоприемной камеры  $b_k$  принимается примерно равной  $(1,5 \div 1,8) D$ , где  $D$  – диаметр трубопровода. Глубину воды  $h_k$  в ней назначают с таким расчетом, чтобы наибольшая возможная скорость течения  $u_k$  на участке подхода к сороудерживающей решетке не превышала 0,8–1 м/сек при ручной очистке решетки от мусора и 1,25 м/сек – при механической очистке. При больших скоростях течения возникает опасность забивки решетки мусором, а зимой льдом. Кроме того, большие

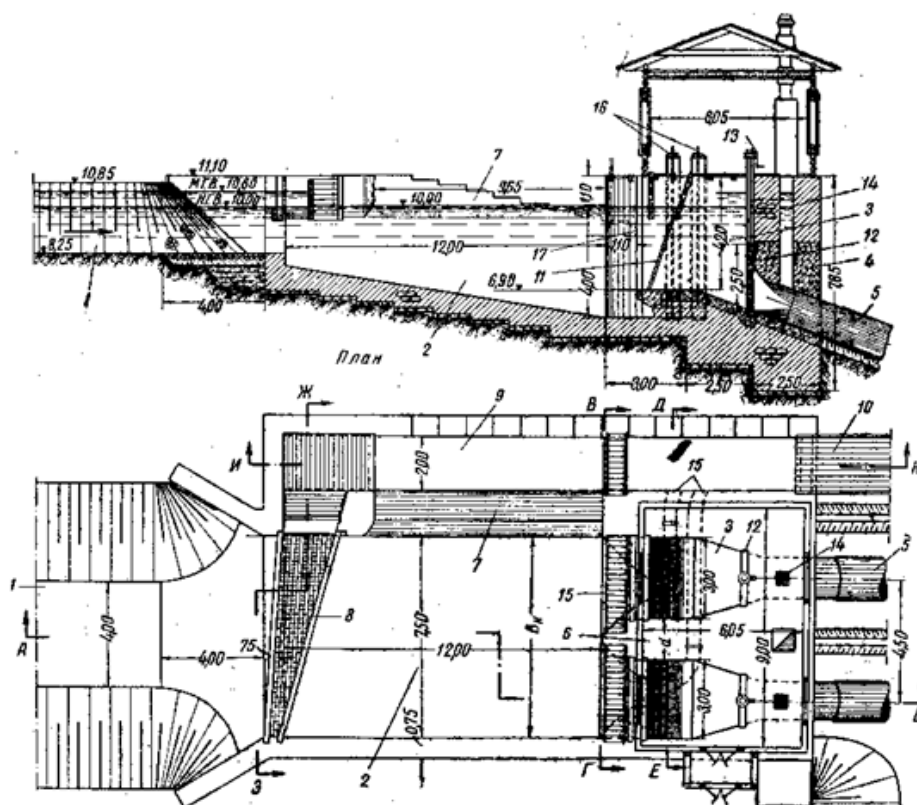


Рисунок 1 – Двухкамерный напорный бассейн: 1 – деривационный канал; 2 – аванкамера; 3 – водоприемные камеры; 4 – напорная стенка; 5 – турбинный трубопровод; 6 – промежуточный бычок; 7 – водослив холостого водосброса; 8 – шугосбросной лоток; 9 – траншея холостого водосброса; 10 – быстроток холостого водосброса; 11 – решетка; 12 – щитовой затвор; 13 – винтовой подъемник; 14 – воздушная труба; 15 – донные промывные галереи; 16 – винтовые подъемники затворов донных промывных галерей; 17 – пазы для ремонтных шандор

скорости увеличивают потери напора в камере и затрудняют очистку решетки от мусора.

Наиболее рациональным в гидравлическом отношении является прямолинейный подвод потока к водоприемным камерам с углом расхождения боковых стенок около  $10^\circ$ . Такая аванкамера равномерно распределяет воду между всеми водоприемными камерами бассейна и обеспечивает восстановление части кинетической энергии потока. В практике не всегда удается осуществить аванкамеру по схеме, показанной на рисунке 2, а. В целях уменьшения объема работ по напорному бассейну иногда приходится делать угол  $>10^\circ$ . Часто топографические условия месторасположения напорного бассейна и характер подвода деривации к напорному бассейну заставляют придавать аванкамере криволинейное очертание в плане (рисунок 2, б) или располагать ее под углом в  $90^\circ$  к продольной оси водоприемных камер (рисунок 2, в) [2].

В ходе проектирования каскада малых ГЭС на реке Усек Алматинской области Республики Казахстан авторами был рассмотрен вариант компоновки напорного бассейна, предложенный ранее в качестве стандартной расчетной схемы Н.П. Лавровым и Г.И. Логиновым [1, 3].

По выполняемому проекту рассматривали вариант подачи воды на гидроагрегаты малых ГЭС максимального расхода воды, равного расходу реки Усек 75 %-ной обеспеченности  $15 \text{ м}^3/\text{с}$ . Подачу объемов воды планировали по 1-й нитке турбинного трубопровода при последующем разделении объемов воды на три гидроагрегата перед зданием МГЭС.

В процессе проектирования были сделаны следующие расчеты (рисунок 3).

Ширину аванкамеры принимали больше по верху  $B_k \geq B_{\text{дер}}$ . При этом ее размер увязывали с размерами турбинных трубопроводов по формуле [1]:  $B_k \geq (1,4 \dots 1,6) n_{ac} D_{m.a} = 1,5 \times 2 = 3,0 \text{ м}$ , (1)

где  $n_{ар}$  – количество турбинных;  $D_{т.в}$  – принятый диаметр турбинного водовода. При устройстве одной нитки трубопровода для создания нормативных скоростей водного потока диаметр трубы принимали равным 2 м.

Длину приёмной аванкамеры принимали равной [1]:

$$l_k = (1,5...2,0)B_k = 1,5 \times 3 = 4,5 \text{ м.} \quad (2)$$

Глубину воды в камере  $h_k$  определяли из условия допустимой скорости  $V_k$  при подходе к сороудерживающим решёткам, которая из условия механической очистки равна [1–3]:

$$h_k = \frac{Q_{ГЭС}}{B_k V_k} + \Delta_3 = \frac{15,34}{3 \times 1,5} + 0,5 = 3,9, \quad (3)$$

где  $Q_{ГЭС}$  – расход гидростанции;  $V_k$  – допустимая скорость при подходе к сооружаемым решёткам, по рекомендациям [1, 4], равная  $V_k = 1,0 \div 1,5 \text{ м/с}$ ;  $\Delta_3$  – заглубление сороудерживающей решётки под уровень воды, принято равным  $\Delta_3 = 0,5 \text{ м}$ .

Поскольку в проекте рассматривали саморегулирующуюся деривацию, строительную высоту стены бассейна  $d$  определяли с учётом высоты обратной волны повышения, которая возникает при остановке агрегатов. Таким образом, строительная высота  $d$  в первом приближении была принята равной:

$$d = h_k + h_b + \delta = 3,9 + 0,85 + 0,25 = 5,0 \text{ м,} \quad (4)$$

где  $h_b$  – высота волны повышения, определяется из формулы [1]:

$$h_b = \frac{Q_{ГЭС}}{B_k C_k} = \frac{15,34}{3 \cdot 6} = 0,85 \text{ м,} \quad (5)$$

где  $C_k$  – скорость распространения волны повышения:

$$C_k = \sqrt{gh_k - V_k^2} = \sqrt{9,81 \cdot 3,9 - 1,5^2} = 6,0 \text{ м/с,} \quad (6)$$

$\delta$  – строительный запас,  $\delta = 0,25 \text{ м}$ , при  $Q_{ГЭС} \leq 30 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\delta = 0,4 \text{ м}$ , при  $Q_{ГЭС} > 30 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Далее определяли заглубление верха напорного трубопровода (шелыги) под уровень воды в напорном бассейне из условия недопущения засасывания воздуха в трубопровод, по формуле [1]:

$$h_{из} = (2...3) \frac{V_{mp}^2 - V_k^2}{2g} = 2 \cdot \frac{5^2 - 1,3^2}{19,62} = 1,19 \text{ м,} \quad (7)$$

где  $V_{mp}$  – средняя скорость воды в турбинном трубопроводе.

Водосбросное устройство напорного бассейна запроектировано в виде водослива практического профиля и отводящей части в виде быстротока, сбрасывающего воду в реку. Размеры водослива определяли в зависимости от максимального расхода, принимаемого равным расходу  $Q_{ГЭС}$ . Длину водослива  $b$  принимали равной длине аванкамеры, т. е.  $b = L_k$ .

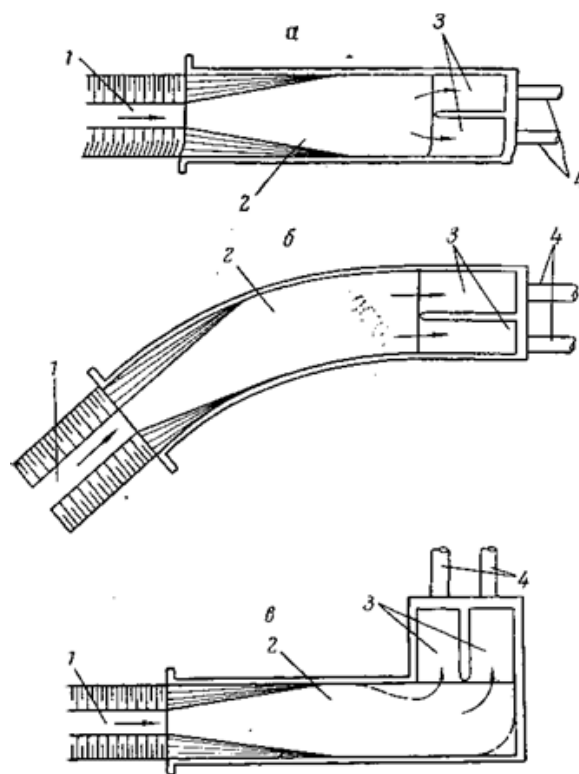


Рисунок 2 – Схемы подвода воды к водоприёмным камерам напорного бассейна: а – прямолинейный подвод воды; б – криволинейный подвод воды; в – подвод воды под углом 90°. 1 – деривационный канал; 2 – аванкамера; 3 – водоприёмные камеры; 4 – турбинный трубопровод

Высоту водослива в конце аванкамеры принимали равной глубине воды в камере  $P_6 = h_k$ . Далее из формулы неподтопленного водослива практического профиля:

$$Q = mb\sqrt{2gH_0^{3/2}}. \quad (8)$$

Сначала мы определяли полный напор  $H_0$ , а затем геометрический напор  $H$  на водосливе, равный:

$$H = H_0 - \frac{\alpha V_k^2}{2g}. \quad (9)$$

При расчете соблюдали условия:

- если полученный напор будет меньше принятого строительного запаса  $\delta$ , то этот запас и строительная высота  $d$  напорного бассейна достаточны;
  - если  $H > \delta$ , то необходимо увеличивать строительную высоту стенок бассейна.
- В ходе расчетов была получена величина:

$$L = \frac{Q}{m\sqrt{2gH^{1.5}}} = \frac{15,34}{0,4 \cdot 4,43 \cdot 1} = 8,9 \approx 9,0 \text{ м.} \quad (10)$$

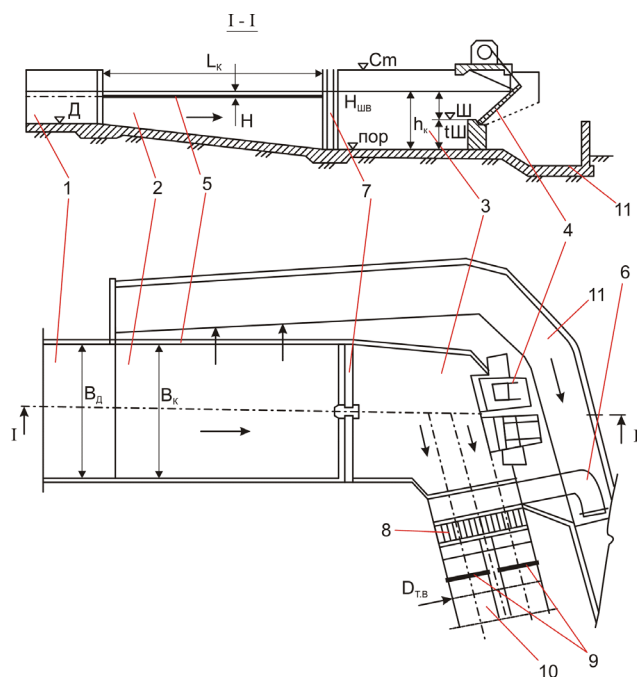


Рисунок 3 – Типовая схема напорного бассейна деривационной малой ГЭС: 1 – деривационный канал; 2 – аванкамера; 3 – водоприёмник; 4 – шугосброс; 5 – катастрофический водослив; 6 – промывная галерея; 7 – шандорный паз; 8 – сороудерживающая решётка; 9 – затвор; 10 – турбинные трубопроводы; 11 – холостой водосброс (быстроток)

Отводящая часть в виде быстротока по данной схеме была запроектирована параллельно турбинному трубопроводу.

Ширину шугосбросного отверстия  $b_{ш}$ , перекрываемого клапанным затвором, определяли из формулы водослива с широким порогом:

$$Q_{шв} = m \sigma_{ш} \sqrt{2g} H_{шв}^{3/2}; \quad (11)$$

$$\sigma_{ш} = \frac{Q_{шв}}{m \sqrt{2g} H_{шв}^{1.5}} = \frac{3 \cdot 0,47}{0,36 \cdot 4,43 \cdot 0,45^{1.5}} = 2,9 \approx 3,0 \text{ м}, \quad (12)$$

где  $m$  – коэффициент расхода неподвижного водослива с широким порогом, согласно [2], равный  $m = 0,36$ ;  $Q_{шв}$  – расход шуговодной массы, сбрасываемой через шугосброс, равный  $Q_{шв} = (3 \dots 4) Q_{ш}$ ;  $Q_{ш}$  – расход шуги, поступающей по деривационному каналу в напорный бассейн:

$$Q_{ш} = B_k h_{ш} V_{нов} = 3 \cdot 0,18 \cdot 0,88 = 0,47 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (13)$$

где  $B_k$  – ширина аванкамеры;  $V_{нов}$  – поверхностная скорость в аванкамере,  $V_{нов} \approx 0,8 V_k$ ;  $h_{ш}$  – толщина шугового ковра, по нормам для южных районов [2], равная  $h_{ш} = 0,18 \dots 0,2 \text{ м}$ ;  $H_{шв}$  – напор шугоотводящего потока на гребне шугосбросного отверстия, согласно [2]  $H_{шв} \approx 2,5 h_{ш}$ .

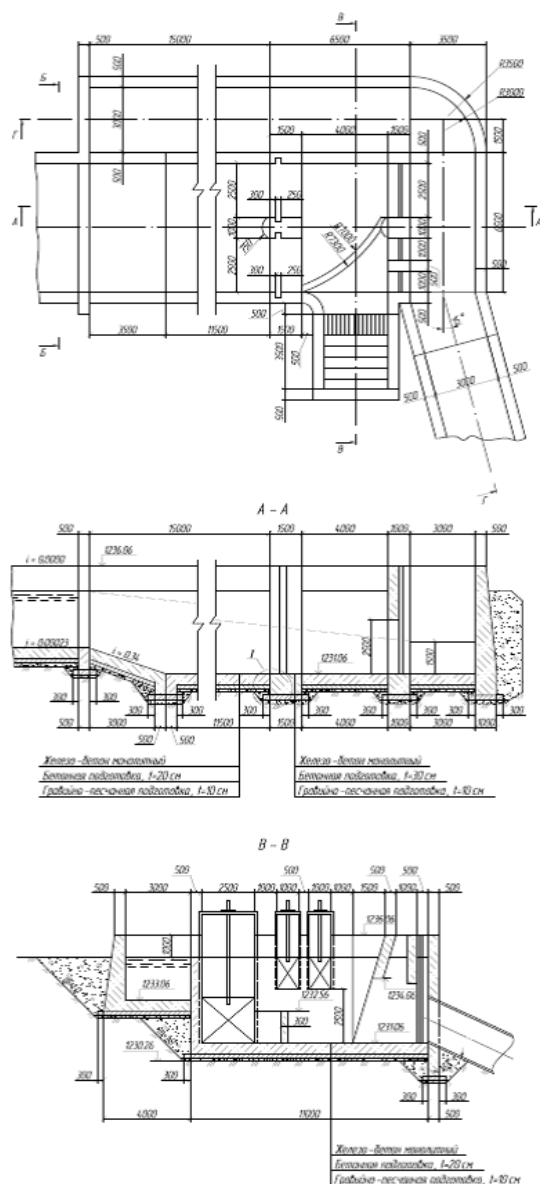


Рисунок 4 – Конструкция запроектированного напорного бассейна для каскада деривационных ГЭС на реке Уссури

Высота порога шугосброса рассчитана равной  $t_{ш} = h_k - H_{шв} = 3,9 - 0,45 = 3,45 \text{ м}$ .

К внедрению в производство нами была рекомендована усовершенствованная конструкция напорного бассейна каскада малых ГЭС (рисунок 4).

Таким образом, при проектировании гидротехнических сооружений необходимо учитывать местные топографические и геологические и гидроморфометрические характеристики. При этом

применение унифицированных компоновочных схем недопустимо, так как это может привести к аварийным ситуациям и нарушению эксплуатационных характеристик при работе гидроузлов.

**Литература**

1. *Лавров Н.П.* Водозаборные и водопроводящие сооружения в горно-предгорной зоне: учеб. пособие / Н.П. Лавров, Г.И. Логинов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2016. 142 с.
2. *Громов В.И.* Сельские гидроэлектростанции / В.И. Громов, Я.Н. Флексер. М.: Госуд. изд-во сельскохозяйственной лит-ры, 1956. 503 с.
3. *Логинов Г.И.* Гидравлические процессы при водозаборе из горных рек / Г.И. Логинов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 196 с.
4. *Лавров Н.П.* Боковое водозаборное сооружение ковшового типа на реке Куршаб / Н.П. Лавров, А.И. Рохман, В.А. Биленко, Г.И. Логинов // Вестник КРСУ. 2002. Т. 2. № 4. С. 83–85.