

УДК 621/627

СОПРЯЖЕНИЕ ЗДАНИЙ ДЕРИВАЦИОННЫХ МАЛЫХ ГЭС С ОТВОДЯЩИМИ РУСЛАМИ РЕК

Т.К. Саламбеков, Б.Б. Курумшиев, Н.А. Фомин, Тойчубай уулу А.

Проведен анализ условий сопряжения зданий, отводящих каналов деривационных ГЭС с отводящими руслами рек с учетом компоновочных схем малых гидроэнергетических узлов Чуйской области Кыргызстана. Представлены основные расчетные характеристики, определяющие вертикальное размещение зданий деривационных ГЭС относительно уровней воды в отводящем русле. Рекомендовано уравнение для расчета разности уровней воды на сопрягающих участках отводящего канала деривационной ГЭС.

Ключевые слова: здание ГЭС; энергия восстановления; отсасывающие трубы; высота отсасывания; отводящее русло реки; отводящий канал; расчетные расходы воды; глубина водного потока; уровень воды.

ДЕРИВАЦИЯЛЫК ЧАКАН ГЭСТЕРДИН ИМАРАТТАРЫНЫН ДАРЫЯНЫН БУРУЛГАН НУГУ МЕНЕН ЧЕКТЕШҮҮСҮ

Т.К. Саламбеков, Б.Б. Курумшиев, Н.А. Фомин, Тойчубай уулу А.

Бул макалада Кыргызстандын Чүй облусунун чакан гидроэнергетикалык түйүндөрүнүн топтолгон схемаларын эске алуу менен, дарыянын бурулган нугу менен деривациялык ГЭСтердин буруучу каналдарынын, имараттарынын чектешүү шарттарына талдоо жүргүзүлгөн. Суунун бурулган нугунда суунун деңгээлине жараша деривациялык ГЭСтердин имараттарын тигинен жайгаштырууну аныктаган негизги эсептик көрсөткүчтөр берилди. Деривациялык ГЭСтин буруучу каналы менен чектешкен тилкелерде суунун деңгээлинин ар түрдүүлүгүн эсептөө үчүн теңдеме сунушталды.

Түйүндүү сөздөр: ГЭСтин имараты; калыбына келтирүү энергиясы; сордуруучу түтүктөр; сордуруу бийиктиги; дарыянын бурулган нугу; буруучу канал; сууну чыгымдоо эсеби; суу агымынын тереңдиги; суунун деңгээли.

CONJUGATION OF BUILDINGS OF SMALL HYDROPOWER STATIONS WITH DIVERSION CHANNELS OF RIVERS

T.K. Salambekov, B.B. Kurumshiev, N.A. Fomin, Toichubay uulu A.

The paper analyzes the conditions of conjugation of buildings, diversion canals of derivation HPPs with diversion channels of rivers, considering the layout schemes of small hydropower units of Chui region of Kyrgyzstan. The main design characteristics determining the vertical location of derivation HPPs' buildings with respect to water levels in the diversion channel are presented. The equation for calculating the difference of water levels in the conjugate sections of the diversion channel of the derivation HPP is recommended.

Keywords: HPP building; recovery energy; suction pipes; suction height; diverting river bed; diverting canal; calculated water flow rates; water flow depths, water levels.

Введение. При проектировании гидроэлектростанций (ГЭС) одной из основных задач является рациональное размещение гидравлической турбины относительно уровней воды в отводящем русле. Поскольку размещение рабочего колеса турбины выше нормативного вызывает проявление процесса

кавитации, а размещение его ниже расчетных значений приводит к неоправданному завышению капиталовложений на строительство.

Особое внимание решению указанной проблемы необходимо уделять при проектировании и строительстве малых деривационных ГЭС. Эти станции в своем составе по классу капитальности имеют один или два гидроагрегата, а удельная стоимость 1 кВт установленной мощности в разы больше удельной стоимости мощности средних и крупных ГЭС, что увеличивает срок окупаемости.

В работе проведен анализ основных характеристик проточных элементов зданий малых деривационных ГЭС, их отводящих каналов, служащих для сброса воды и отводящих русел горных рек. Поскольку все эти элементы при сбросе объемов воды от рабочего колеса, оказывают взаимовлияние по уровням водного потока и сопрягаются специальными сооружениями.

Основным проточным элементом заданий деривационных ГЭС, наряду с турбинными камерами, являются отсасывающие трубы, которые предназначены:

- 1) для отвода воды с минимальными потерями энергии от рабочего колеса в нижний бьеф;
- 2) для использования части геометрического напора, если рабочее колесо турбины расположено над уровнями воды в нижнем бьефе;
- 3) для преобразования кинетической энергии потока в энергию давления.

Величина кинетической энергии потока на выходе из рабочего колеса зависит от типа гидротурбины и режима ее работы. Эта энергия существенно отличается для турбин радиально-осевого (РО) и осевого типа – поворотно-лопастных (ПЛ) (таблица 1). Эти турбины наиболее часто применяются на малых деривационных ГЭС. Турбины РО чаще всего применяются при напорах на ГЭС более 40 м, а турбины ПЛ – при напорах до 40 м [1].

Таблица 1 – Величина кинетической энергии потока $V_3^2 / 2gH$ за рабочим колесом, для турбин типа РО и ПЛ

Тип турбины	Диапазон быстроходности	$V_3^2 / 2gH$
Радиально-осевые (РО)	70–300	2–10
Поворотно-лопастные осевые ПЛ	450–1000	16–50

Величина кинетической энергии при установке конусной отсасывающей трубы преобразуется в энергию восстановления, так как отсасывающие трубы по длине расширяются. Это приводит к уменьшению скоростей водного потока и к снижению скоростного напора.

Энергия восстановления в отсасывающих трубах (рисунок 1) за рабочим колесом определяется по формуле:

$$H_{\text{вост}} = H_s + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}, \quad (1)$$

где H_s – высота отсасывания гидротурбины, расстояние от рабочего колеса до уровней воды в верхнем бьефе; V_1 – средняя скорость воды в начале отсасывающей трубы; V_2 – средняя скорость потока воды в конце отсасывающей трубы.

Энергия восстановления в отсасывающих трубах вызывает понижение давления ниже атмосферного. При снижении давления в трубе ниже давления водяных паров, в ней будет наблюдаться разрыв сплошности водного потока, что приводит к проявлению кавитации с разрушением гидротурбин.

Для предупреждения кавитации на практике разработана методика расчета допустимой высоты отсасывания. Расчет допустимой высоты отсасывания производится по зависимости [1]:

$$H_s = 10 - \nabla_{\text{нб}} / 900 - \sigma H, \quad (2)$$

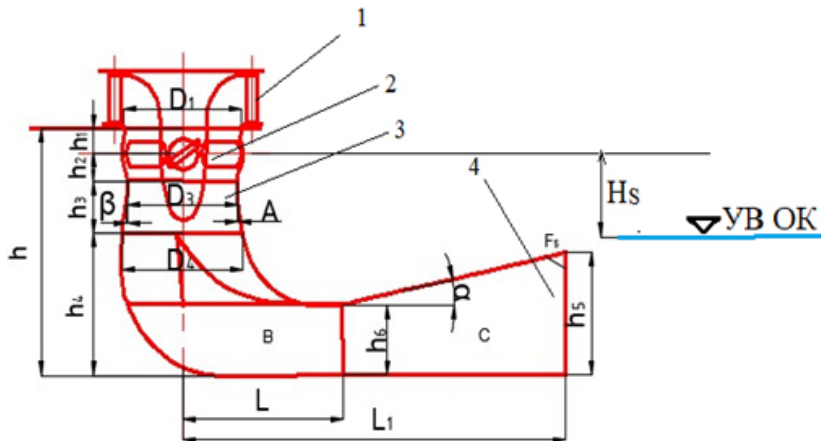


Рисунок 1 – Расчетная схема отсасывающей трубы:
 1 – направляющий аппарат; 2 – рабочее колесо турбины;
 3 – начало отсасывающей трубы; 4 – конечное сечение отсасывающей трубы

где 10 – среднее атмосферное давление; $\nabla_{НБ}$ – абсолютная отметка установки рабочего колеса турбины; σ – гравитационный запас задается заводом изготовителем; H – действующий напор на ГЭС.

Допустимая высота отсасывания при проектировании ГЭС обязательно согласуется с заводом изготовителем, и должна поддерживаться при всех режимах эксплуатации гидротурбин ГЭС.

Как свидетельствует анализ графиков, водоподача – подаваемый расход воды на малые ГЭС Кыргызстана, может изменяться в широком диапазоне. Основным фактором, определяющим величину расходов воды, подаваемой на ГЭС, являются гидрографы рек (рисунок 2) и значения санитарных расходов воды, которые требуется сбрасывать в отводящее русло водозаборного сооружения ГЭС.

Величина санитарных расходов определяется в зависимости от водотока и в среднем может быть определена по формуле [2]:

$$Q_{сан} = 0,75Q_{95\%}, \quad (3)$$

где $Q_{95\%}$ – расход реки 95 % обеспеченности.

Расчетный расход графика водопадачи определяется в зависимости гидрологических условий. При этом рассматривается гидрограф расходов воды, построенный для года 75 %-ной обеспеченности. На рисунке 2 приведен горный участок реки Ит-Агар – приток реки Чичкан (Джалал-Абадская область, Кыргызстан), который рассматривается в перспективе в качестве потенциального гидроэнергетического источника.

Как правило, деривационные ГЭС участвуют в покрытии пиковой и полупиковой части гидрографа. При этом время их работы в режиме установленной мощности принимается в пределах от 2000 до 4000 часов. Расходы графика водопадачи, не входящие указанный период, составляют меньшие величины.

Минимальные расходы воды, подаваемые на малые деривационные ГЭС в зависимости от типа турбин, могут быть определены по преобразованной формуле [1]:

$$Q_{ГЭС}^{min} = \frac{m \times Q_{ГЭС}}{n}, \quad (4)$$

где $Q_{ГЭС}$ – расход воды, подаваемый на ГЭС в режиме установленной мощности; m – коэффициент, учитывающий допустимые значения снижения мощности гидроагрегата, для радиально-осевых турбин равен (0,7–0,75), для поворотно лопастных – (0,25–0,3); n – количество агрегатов на ГЭС.

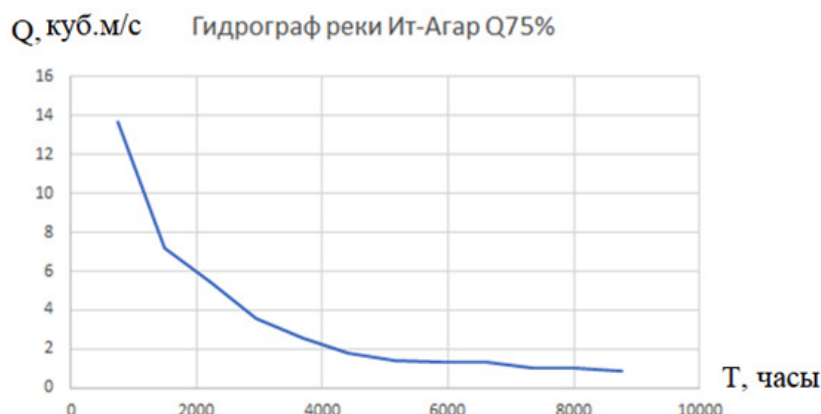


Рисунок 2 – Гидрограф участка малой горной реки Ит-Агар

Анализ состава сооружений и установок деривационных ГЭС, построенных в Кыргызстане, показывает, что, как правило, на станциях установлено два гидроагрегата.

При этом отношение расходов, подаваемых на ГЭС, изменяется в следующих пределах:

- при устройстве турбин РО минимальный подаваемый расход воды может быть рассчитан по формуле:

$$Q_{ГЭС}^{min} = (0.35 - 0.375)Q_{ГЭС}; \quad (5)$$

- при устройстве турбин ПЛ минимальный расход воды, подаваемый на ГЭС, может быть определен из соотношения:

$$Q_{ГЭС}^{min} = (0.125 - 0.15)Q_{ГЭС}. \quad (6)$$

Подаваемые расходы воды на деривационные ГЭС из малых горных рек изменяются в больших диапазонах. В зимнюю межень подача воды может составлять менее 40 % от расходов, подаваемых летом при прохождении по рекам паводков. Указанные условия вызывают изменение в режиме работы отводящих каналов, которые сбрасывают воду в отводящее речное русло [3].

Отводящие каналы рассчитываются на сброс максимального расхода воды, подаваемого на ГЭС. Уменьшение сбрасываемых расходов вызывает снижение уровней воды. Размещение гидроагрегатов ГЭС производится с учетом минимального уровня воды в отводящем канале (рисунок 3). При увеличении подаваемых расходов происходит подъем уровней воды и сокращение действующего напора на ГЭС.

Для регулирования уровней воды в отводящем канале могут быть использованы плоские затворы, которые устанавливаются в начале отводящего канала или в их конечном сечении.

При этом расчет производится с учетом известной методики водосбросных отверстий [4], по формуле затопленных водосливов с широким порогом [5]:

$$Z_0 = \frac{Q_{in}^2}{\varphi^2 b_n^2 h_n^2 2g}, \quad (7)$$

где Q_{in} – расчетный расход воды, сбрасываемой через водосливной пролет; φ – коэффициент, учитывающий подпорные условия водосливного отверстия; b_n^2 – ширина водосливного пролета; h_n^2 – глубина воды над горизонтальным гребнем водосливного пролета со стороны нижнего бьефа.

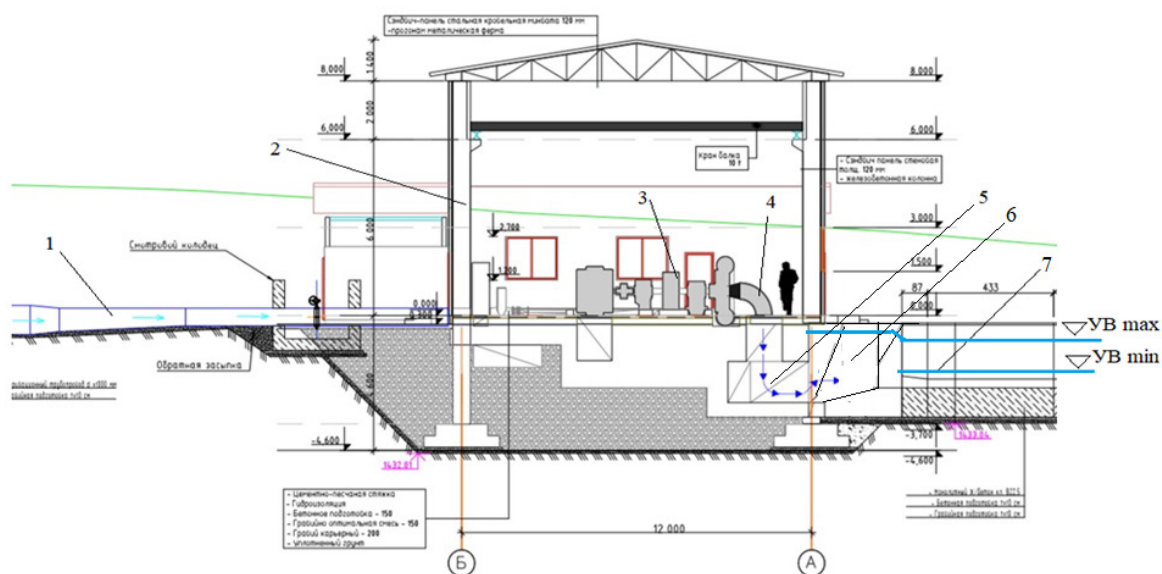


Рисунок 3 – Компонировочная схема здания ГЭС: 1 – напорный трубопровод; 2 – машинный зал; 3 – горизонтальный гидроагрегат; 4 – отсасывающая труба; 5 – сбросная галерея; 6 – участок водобоя; 7 – отводящий канал

Выводы. Определены основные условия, которые учитываются при размещении основного гидроэнергетического оборудования деривационных ГЭС относительно уровней воды в отводящих каналах и руслах рек.

Результаты анализа расчетных характеристик режимов сопряжения водных потоков в отводящих каналах, свидетельствуют о многогранности условий, определяющих рациональное использование водных ресурсов на деривационных ГЭС.

Предложено устройство затворов по длине отводящего канала ГЭС для регулирования уровней воды на участках водобоя ГЭС.

Литература

1. Лавров Н.П. Методические указания к дипломному проектированию по гидротехническому строительству / Н.П. Лавров, Г.И. Логинов. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2009. 56 с.
2. Маркин В.Н. Обоснование водохозяйственных мероприятий в бассейне реки: учеб. пособие / В.Н. Маркин, Л.Д. Рагкович, С.А. Соколова. М.: МГУП, 2009. 77 с.
3. Гидравлические процессы при водозаборе из горных рек. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 196 с.
4. Логинов Г.И. Методика расчета параметров водосбросных сооружений низконапорных водозаборных сооружений из малых горных рек / Г.И. Логинов, С.С. Отаназаров // Вестник КРСУ. 2018. Т. 18. № 8. С. 108–112.
5. Справочник по гидравлическим расчетам / колл. авторов; под ред. П.Г. Киселева // Репринтное воспроизведение издания 1972 г. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 312 с.