

СОСТАВ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВХОДНОЙ И КОНЦЕВОЙ ЧАСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ВОДОСБРОСА

Докт.техн.наук Н.П.Лавров
Канд.техн.наук А.С.Костина
А.П.Ерофеев
М.С.Олейников

В статье описывается состав и методика экспериментальных исследований входной и концевой части поверхностного катастрофического водосброса, проводимых в рамках проекта МНТЦ.

На основе проведенного анализа водосбросных сооружений грунтовых плотин, с учетом выявленных недостатков в работе входной и концевой частей водосбросов намечены цели научных исследований, которые заключались в:

- совершенствовании существующих конструкций входных оголовков водосбросов в виде криволинейных и прямолинейных водосливов на основе гидравлических модельных исследований;
- разработке более усовершенствованной конструкции концевой части водосброса для обеспечения более надежной и безопасной работы сооружения.

Исходя из поставленных целей исследований, возникла необходимость проведения модельных (экспериментальных) исследований входной, транзитной и концевой частей водосбросного сооружения.

На основе анализа состава исследований поверхностного катастрофического водосброса (ПКВ) была разработана детальная методика проведения экспериментальных исследований каждой части водосбросного сооружения, планируемых на гидротехнической модельной площадке (ГМП) ОАО «Кыргызводпроект» и модельной русловой установке (МРУ) Полигона гидротехники и энергетики в Центре образования, науки и культуры (ЦОНИК) КРСУ в с. Беш-Кунгей.

При проведении модельных исследований ПКВ Орто-Токойского водохранилища в 2000 г. было выявлено, что предложенная турецкой фирмой «Temelsu/GIBB» конструкция входного оголовка не обеспечивает заданную пропускную способность водосбросного сооружения при трансформации паводка в Орто-Токойском водохранилище /1/.

Исходя из вышеизложенного, экспериментальные исследования пропускной способности входного оголовка поверхностного катастрофического водосброса включают в себя следующие основополагающие задачи:

- совершенствование конструкции входного оголовка водосброса с целью согласования его пропускной способности с трансформацией паводка в водохранилище при

изменении уровня от НПУ до ФПУ и пропускной способностью транзитной части бокового поверхностного водосброса (БПКВ);

- описание гидравлических явлений на входных оголовках водосбросов при истечении через водосливы различного очертания;
- определения геометрических размеров усовершенствованной конструкции входного оголовка поверхностных катастрофических водосбросов для значительного диапазона изменения напора воды;
- согласования пропускной способности входной и транзитной части поверхностных катастрофических водосбросов.

Для решения этих основополагающих задач была разработана методика проведения экспериментальных исследований входного оголовка водосбросного сооружения, в процессе выполнения которых необходимо:

- на основе ранее проведенных модельных исследований входного оголовка выявить закономерности и причины уменьшения его пропускной способности и дать теоретическое обоснование;
- определить пропускную способность входного оголовка при истечении через водосливы различных конфигураций прямолинейного и криволинейного очертания в плане;
- на основе теоретического обоснования усовершенствовать конструкцию входного оголовка водосбросного сооружения с определением его геометрических размеров и пропускной способности с различными типами водосливов;
- согласовать пропускную способность входного оголовка усовершенствованной конструкции и транзитного участка водосброса.

Пропускную способность входного оголовка водосброса можно определить, построив зависимость коэффициента расхода M в формуле водослива $Q = M \cdot b \sqrt{2g} H^{3/2}$ от относительного напора H/H_p . Для этого производится серия опытов для различных расходов, величина которых определяется с помощью предварительно протарированного мерного треугольного водослива Томсона. Напор над мерным водосливом определяется мерной иглой (шпитценмаштабом) с точностью отсчета 0,1 мм. Вычисление расхода через водослив Томсона производится по уточненной эмпирической формуле /2/.

$$Q = 1,343H^{2,47}, \quad (1)$$

где H - напор над мерным водосливом, измеряемый в верхнем бьефе на расстоянии $(3 \div 5)H$ от этого водослива.

Напор H над входным криволинейным водосливом практического профиля при расходах, вычисленных по зависимости (1) определяется различными способами. На модельной площадке ОАО «Кыргызводпроект» он устанавливается путем геометрического нивелирования, как разность отсчета по рейке на гребне мерного водослива и отсчета уровня воды в верхнем бьефе водослива на удалении от него на величину более $3H$. Для определения напора на гребне водослива H использовался нивелир марки 2Н-10Л и специально изготовленная рейка с ценой деления 1 мм.

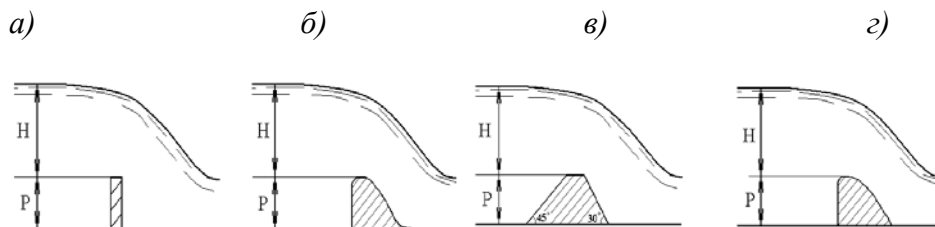
На модельной русловой установке в ЦОНИК КРСУ, где намечены исследования входного оголовка, напор на водосливе измеряется при помощи шпитценмасштаба.

Исходными данными для расчета моделей входных оголовков и самого сбросного сооружения (за базовое сооружение принят БПКВ Орто-Токойского гидроузла) являются /1/: форсированный расход водосброса $Q_{форс} = 258,0 \text{ м}^3/\text{с}$, соответствующий ФПУ в Орто-Токойском водохранилище; расчетный расход водосброса, соответствующий НПУ, $Q_p = 173,3 \text{ м}^3/\text{с}$; длина криволинейного водослива, принятая из условия согласования минимальных расходов головной и транзитной части водосброса в проекте Temelsu/GIBB–Кыргызводпроект равна $b=20 \text{ м}$, высота водослива $P=1,5 \text{ м}$, радиус очертания водослива в плане $R=37,67 \text{ м}$ с центральным углом $\theta=30^\circ 44' /3/$. Обычно при проведении модельных исследований водосбросных сооружений учитываются волновые явления в водохранилище, на подходе к БПКВ.

Так как в данном случае расчетная высота ветровой волны оказалась незначительной ($\Delta h=0,0003 \text{ м}$), то её можно не учитывать при проведении модельных исследований.

Гидравлические исследования пропускной способности входных оголовков поверхностных водосбросов намечено проводить для четырех конфигураций водосливных профилей водосбросов с вертикальными боковыми стенками (рис. 1): а) прямоугольного водослива с тонкой стенкой, б) классического водослива практического профиля вакуумного очертания, построенного по координатам Розанова Н.П. для расчетного напора $H=2,5 \text{ м}$, в) водослива полигонального очертания и г) реально существующего Орто-Токойского профиля (водослива практического профиля с утолщенным оголовком и неплавным сопряжением в нижней части).

Принятые к исследованиям водосливные профили поверхностных катастрофических водосбросов



- а) с тонкой стенкой; б) практического профиля;
в) полигонального очертания; г) Орто-Токойского профиля.

Рисунок 1

Геометрические размеры и профили водосливов, кроме водослива Орто-Токойского типа, выбирались по известным гидравлическим зависимостям /2, 4, 5/.

С целью оптимизации параметров усовершенствованной конструкции входного оголовка и минимизации объема гидравлических исследований применено оптимальное планирование экспериментов с использованием математической модели /6/.

Моделирование гидравлических явлений на различных участках БПКВ проводилось нами по критерию гравитационного подобия с выполнением условия равенства числа Фруда для натуре и модели ($Fr=idem$)/7, 8, 9/.

Для проведения гидравлических исследований использована физическая модель водосбросного сооружения, выполненная в уменьшенном масштабе.

Минимально допустимый линейный масштаб модели, определенный из формулы Леви /10, 11/ составил $\lambda_{min}=38,2$.

Принимаем линейный масштаб моделирования $\alpha=35$, что превышает минимально допустимый масштаб $\lambda_{min}=38,2$.

Для совершенствования конструкции концевой части поверхностного водосброса (ПВС) Курпсайской ГЭС в связи с проблемами в его эксплуатации необходимо проведение модельных исследований.

На основе поставленной задачи была разработана методика проведения экспериментальных исследований концевой части ПВС, проводимых на гидротехнической площадке ОАО «Кыргызводпроект».

Экспериментальные исследования поверхностного водосброса имеют следующую цель: совершенствование конструкции гасителей концевой части ПВС для пропуска проектных расходов воды по водосбросу, не влекущего за собой водонасыщения и опасных размывов клона поймы р.Нарын.

Для выполнения этой цели необходима реализация следующих задач:

- дать теоретическое обоснование причин неверного направления и некомпактности струи и на основе этого усовершенствовать конструкцию концевой части;
- изучить кинематику потока в концевой части ПВС; снять координаты (траекторию) отлета струи при 4-5 расчетных расходах, вплоть до максимального расхода ПВС, равного $1600\text{м}^3/\text{с}$ в масштабе $0,033\text{м}^3/\text{с}$;
- усовершенствовать конструкцию концевой части ПВС КГЭС с целью благоприятного сопряжения ниспадающей с ПВС струи с руслом реки Нарын;
- выполнить повторные детальные исследования кинематики потока струи, получить экспериментальные зависимости для длины отлета струи и угла сопряжения русла;
- дать практические рекомендации по реконструкции и эксплуатации ПВС КГЭС, в том числе при его работе одновременно с глубинным водосбросом гидроузла.

Модельные исследования проводятся на гидротехнической площадке ОАО «Кыргызводпроект».

Физическая модель водосбросного сооружения выполнена из дерева и бетона в масштабе 1:75. Масштаб моделирования выбирался из условий конструктивных возможностей модельной площадки и соблюдения автомодельности по Рейнольдсу.

Минимально допустимый масштаб модели определялся по зависимости Леви /10/ и составил $\lambda_{min}=87$. В нашем случае $\delta=75$ крупнее минимально допустимого λ_{min} .

Основным критерием динамического подобия для высококинетических потоков при доминирующем влиянии на исследуемые гидравлические процессы сил гравитации и инерции нами был выбран /7, 8, 9/ критерий Фруда.

При линейном масштабе моделирования $\lambda = 75$ необходимо было рассчитать масштабные коэффициенты, функциональные зависимости для расчета по справочнику /4/. Формулы и результаты расчета масштабных коэффициентов при пересчете с модели на натуру приведены в форме таблицы 1.

Таблица 1

**Масштабные коэффициенты при моделировании
пропускной способности КПВС**

Наименование величин	Обозначение величин	Формулы пересчета	Масштабный коэффициент
1	2	3	4
Линейные размеры: Длина, высота, ширина	l	λ	75
Скорость воды	v	$\lambda^{0,5}$	8,66

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Расход воды	Q	$\lambda^{2,5}$	48713,9
Время	t	$\lambda^{0,5}$	8.66
Ускорение	a	1	1
Сила	F	λ^3	474552
Мощность	N	$\lambda^{3,5}$	3653544

Геометрические размеры КПВС взяты из проекта /12/ Курпсайской ГЭС на р.Нарын.

Максимальный расход КПВС, равный $Q_H = 1600 \text{ м}^3 / \text{с}$, на модели составил $Q_M = Q_H / \lambda^{2,5} = 1600 / 48713,9 = 0,033 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Экспериментальная установка (рис. 2) размещена на модельной площадке ОАО «Кыргызводпроект».

Длина этих участков была в 75 раз меньше, чем в натуре, а общая длина модели от начала на входе водосброса до концевой части составляет 4,04м, что в проекте соответствует 303,66 м.

Сечение модельного быстрогока было выполнено из бетона с прямоугольным сечением с шириной по дну 14,6 см (в натуре 11 м), и строительной высотой лотка на всей протяженности водоската, равной 11,3 см (в натуре 8,5 м), концевая часть 7 выполнена из дерева длиной 33см (в натуре 24,75м) и шириной 34,1см (в натуре 25,6м)

Общий перепад отметок от входной части до конца сооружения составил 1,04 м, что соответствует разности этих отметок в натуре, равной 78,55 м.

Контроль за расходами воды осуществляется по аналогии с модельными исследованиями Орто-Токойского поверхностного водосброса и заключался в проверке экспериментальных данных путем их сравнения с расчетными проектными величинами.

Схема модельной установки

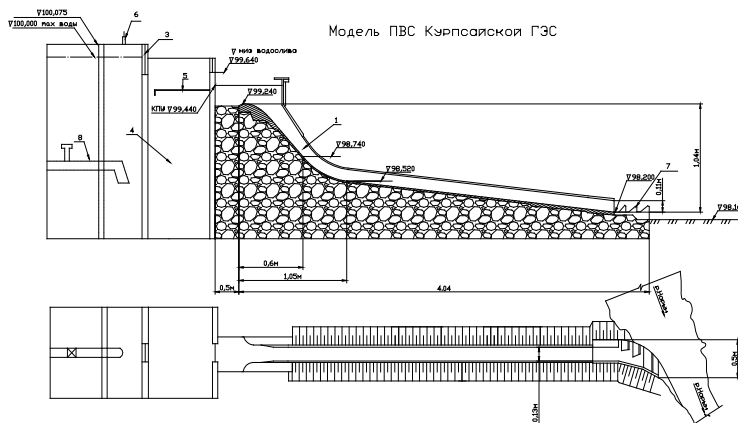


Рисунок 2

Траектория компактной части струи при её отлете будет фиксироваться с помощью нивелира Н-3 с точностью взятия отсчетов до 1мм. Этим же инструментом будут определяться глубины воронки размыва в нижнем бьефе ПВС. При этом плановые и пространственные очертания воронки размыва будут устанавливаться путем нивелирования по квадратам.

Разбивка сети квадратов (10x10 см) с привязкой к твердому реперу будет осуществляться на модели мерной лентой (рулеткой) с ценой деления 1 мм и с помощью теодолита-тахеометра Т-30 с ценой деления оптического лимба 5^l.

Профиль отброшенной струи для определения её координат также намечено снимать на цифровую фотокамеру при различных расходах воды в ПВС (от 0,1Q_м до Q_м) на фоне вертикальной сетки квадратов размерами 10x10см.

Выводы

1. В соответствии с целями и задачами исследований и на основе ранее проведенных экспериментов разработана детальная методика проведения экспериментальных исследований входной, транзитной и концевой части поверхностного катастрофического водосброса.

2. Определены масштабы физической модели и условия моделирования гидравлических явлений. Дано описание экспериментальных установок, большая часть из которых реконструирована применительно к задачам гидравлических исследований, поставленным в проекте МНТЦ КР-1130.

Литература

1. Отчет о модельных исследованиях катастрофического сброса Орто-Токойского водохранилища // АООТ «Кыргызводпроект». Бишкек, 2000. – С. 18-19.
2. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Кн. 2. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 178 с.
3. Реконструкция катастрофического водосброса Орто-Токойского водохранилища. Кн. 1 // Отчет АООТ «Кыргызводпроект». - Бишкек, 2000. – 42 с.
4. Справочник по гидравлическим расчетам. Под ред П.Г. Киселева. Изд. 5-е. - М.: Энергия, 1972. – 312 с.
5. Рекомендации по гидравлическому расчету водосливов. Л.: Энергия, 1974. – 58 с.
6. Атаманова О.В., Костина А.С. Оптимизация параметров входного оголовка Орто-Токойского катастрофического водосброса. // Вестник КРСУ. Том 5. № 3.– Изд-во КРСУ, 2005. – С. 78-82.
7. Финни Д. Введение в теорию планирования эксперимента. – М.: Наука, 1970. – 287 с.
8. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Металлургия, 1969.– 300с.
9. Гинберг А.М. и др. Оптимизация технологических процессов в гальванотехнике. – М.: Машиностроение, 1972. – 128 с.
10. Леви Н.И. Моделирование гидравлических явлений. – Л.: Энергия, 1967. – 235с.
11. Шарп Дж. Гидравлическое моделирование: Пер.с англ. – М.: Мир, 1984. – 280 с.
12. Рабочий проект Курпсайской ГЭС. – Ташкент: СредазГидропроект/ руководитель Хозанов А.А. – Шифр 1148, 1984. – 177 с.