

УДК 627.8:532.5 (575.2) (04)

**ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ КИНЕМАТИКИ ПОТОКА НА ВЫХОДЕ  
С КОНЦЕВОЙ ЧАСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДОСБРОСА  
НА ПРИМЕРЕ КУРПСАЙСКОЙ ГЭС**

*О.В. Атаманова* – докт. техн. наук, доцент,

*Н.И. Иванова* – канд. техн. наук, доцент,

*А.П. Ерофеев* – аспирант,

*В.А. Трофименцева* – аспирант

---

The following method to plan research experiments to retrieve optimal solutions is considered. It is applied for the hydraulic study of the final stretch of the water spillway of Kurpsai hydro power plant in the form of a model.

В результате натурного обследования поверхностного водосброса Курпсайской ГЭС (ПВС КГЭС) и оценки его технического состояния, проведенного в 2004 г., было выявлено несоответствие между существующей конструкцией поверхностного водосброса и ее проектным решением [1]. Длина распространения выходного потока и водяной пыли превышали проектные характеристики, что привело к водонасыщению левого склона реки Нарын и угрозе образования оползня в нижнем бьефе сооружения. Помимо этого, вода, отбрасываемая с трамплина концевой части сооружения поверхностного водосброса, заливала кабельный лоток, распространяясь в сторону ОРУ и создавая благоприятные условия работы в ЛЭП [2].

Концевое сооружение ПВС КГЭС представляет собой плиту в форме неправильного выпуклого многоугольника (в плане), снабженного тремя трамплинами [2].

Для улучшения работы ПВС КГЭС и ликвидации опасности возникновения аварии в нижнем бьефе сооружения необходима реконструкция его концевой части (ступенчатого

трамплина). Это требует проведения модельных исследований с целью установления оптимальных параметров и конструкции концевой части водосбросного сооружения.

Для изучения кинематики потока при выходе струи воды с концевой части ПВС КГЭС необходимо было провести гидравлические исследования модели водосброса с использованием методов планирования экспериментов при поиске оптимальных решений.

Поиск наиболее рациональной конфигурации концевой части поверхностного водосброса потребовал изучения истечения с трамплинов различной формы и размеров, варьирование которых позволит достичь наилучшего результата по длине отлета и форме распространения струи.

На основе анализа полученных данных в [1–3] была разработана методика проведения экспериментальных исследований концевой части ПВС КГЭС, планируемых на гидротехнической модельной площадке (ГМП) ОАО “Кыргызводпроект” и модельной русловой установке (МРУ) полигона гидротехники и энергети-

ки в Центре образования, науки и культуры (ЦОНИК) КРСУ в селе Бешкунгей.

Для проведения исследований была выполнена физическая модель ПВС КГЭС из дерева и бетона в масштабе 1:75. Обоснование масштаба моделирования применяемой при исследованиях аппаратуры и точности измерения приведено в [3].

Конструкция модели концевой части водосброса представлена на рис. 1.



Рис. 1. Конструкция модели концевой части поверхностного водосброса Курпсайской ГЭС.

При оптимизации параметров концевой части ПВС КГЭС необходимо было найти такие уровни факторов, при которых функция отклика примет требуемое значение. В этом случае отклик или параметр оптимизации выбирался из условия обеспечения основной цели исследований, то есть – максимального уменьшения влияния отбрасываемой струи и водяной пыли на противоположный склон реки Нарын. В нашем случае в качестве параметра оптимизации была принята длина отлета отбрасываемой струи  $L$ . Этот параметр является достаточно легко измеряемым при проведении физического эксперимента в соответствии с изложенной выше методикой проведения экспериментальных исследований.

При проведении эксперимента необходимо достичь такого сочетания факторов, воздействующих на процесс истечения, при котором длина отлета внешней границы компактной струи является наименьшей, но при этом угол наклона внешней границы струи не превышает  $90^\circ$ . При слишком крутом отбросе струи с но-

сков концевой части водосброса будет происходить размыв дна нижнего бьефа плотины.

В процессе проведения экспериментов необходимо путем варьирования факторов достичь желаемого эффекта по уменьшению подмыва и насыщения водой левого берега реки Нарын. Для выбора факторов, влияющих на оптимизируемый процесс, было проведено априорное ранжирование, позволившее принять в качестве факторов следующие характеристики: относительную длину носков трамплинов  $l/l_c$  ( $l$  – принимаемая длина модели трамплина,  $l_c$  – существующая длина модели трамплина), относительную высоту трамплинов  $h/h_c$  ( $h$  – принимаемая высота модели трамплина,  $h_c$  – существующая высота модели трамплина), угол наклона водосливной грани к горизонтали  $\alpha$  (рис. 2). Выбранные факторы являются независимыми, т.е. принятие некоторого уровня одного фактора не зависит от принятых значений других факторов.

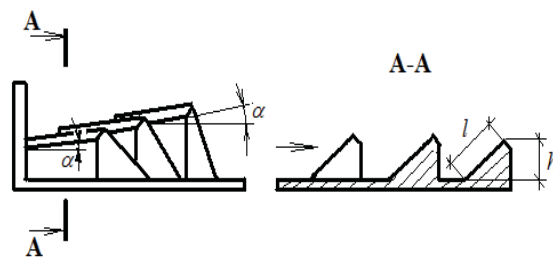


Рис. 2. Схема модели концевой части поверхностного водосброса.

Предварительным этапом при решении задач оптимального планирования и исследования концевой части ПВС КГЭС был выбор функции, являющейся математической моделью изучаемого процесса. Поскольку истинное описание этой функции установить практически невозможно, то ее описание проводится приближенно с помощью аппроксимирующего полинома – отрезка ряда Тейлора.

Коэффициенты полинома в связи с отсутствием истинного описания функции нельзя определить теоретически. Они определяются экспериментально в соответствии с разработанной ранее программой исследований с помощью опытов при некоторых фиксированных значениях факторов. Поэтому аппроксимирующий полином записывается в виде уравнения регрессии типа:

Таблица 1

Уровень варьируемых факторов

Уровень фактора	Кодовые обозначения	Относительная длина трамплина $l/l_c$	Относительная высота трамплина $h/h_c$	Угол наклона водосливной грани к горизонтали $\alpha$
		x1	x2	x3
Основной	0	1,1	1,2	15
Интервал варьирования	$\Delta x_i$	0,1	0,2	15
Верхний	+1	1,2	1,4	30
Нижний	-1	1	1	0

Таблица 2

Матрица полного факторного эксперимента  $2^3$

№ опыта	x0	x1	x2	x3	x1 x2	x1 x3	x2 x3	x1 x2 x3	yln
1	+	+	+	+	+	+	+	+	$y_1$
2	+	+	+	-	+	-	-	-	$y_2$
3	+	+	-	+	-	+	-	-	$y_3$
4	+	+	-	-	-	-	+	+	$y_4$
5	+	-	+	+	-	-	+	-	$y_5$
6	+	-	+	-	+	+	-	+	$y_6$
7	+	-	-	+	+	-	+	+	$y_7$
8	+	-	-	-	+	-	+	-	$y_8$
$b_i$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{123}$	

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_i x_i^2 + \dots, \quad (1)$$

где  $b_0, b_1, b_{ij}, b_{ii}$  – коэффициенты, являющиеся статистическими оценками взаимовлияния указанных выше факторов на оптимизируемый процесс.

После выбора вида функции отклика необходимо было установить границы областей определения факторов, основные уровни факторов и интервалы варьирования. При проведении экспериментов используются кодированные значения уровней факторов. При этом основной уровень принимается равным нулю, верхний -1, нижний +1. Кодирование осуществлялось по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_i^0}{\Delta x_i}, \quad (2)$$

где  $i=3, x_i^0$  – основной уровень фактора;  $x_{i\max}, x_{i\min}$  – верхний и нижний уровни  $i$ -го фактора;  $\Delta x_i$  – интервал варьирования.

Уровни варьируемых факторов приведены в табл. 1.

Полный факторный эксперимент представим в виде матрицы планирования (табл. 2). Проведенный в соответствии с запланированной матрицей (табл. 2) полный факторный эксперимент необходимо проверить на возможное проведение регрессионного анализа с помощью однородности дисперсий по критерию Кохрена [4]. Значимость коэффициентов уравнения регрессии проверяется по критерию Стьюдента [5]. Проверка адекватности полученной математической модели проводится по критерию Фишера [6].

Обоснованная в результате статистической обработки математическая модель позволит осуществить “крутое восхождение” по градиенту. При этом движение к оптимуму проводится по кратчайшему пути. Направление восхождения по градиенту необходимо будет выбрать по уравнению регрессии. Крутое восхождение будет проведено по методу Бокса–Уилсона [5].

Проведенный в соответствии с изложенной методикой модельный эксперимент по

изучению кинематики потока отбрасываемой струи  $L$  позволит выбрать наиболее рациональные значения факторов: относительной длины носков трамплинов  $l/l_c$ , относительной высоты трамплинов  $h/h_c$  и угла наклона водосливной грани к горизонтали  $\alpha$ .

Полученные в результате экспериментальных исследований и пересчитанные с модели на натуре значения конструктивных и гидравлических параметров концевой части поверхностного водосброса Курпсайской ГЭС войдут в методику расчета усовершенствованной конструкции водосбросного сооружения.

#### **Литература**

1. Оценка состояния и разработка программы исследований водосбросных сооружений Токтогульской и Курпсайской ГЭС // Отчет о НИР: Кн. 3. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2004. – 51 с.
2. Лавров Н.П., Атаманова О.В., Ерофеев А.П., Худайбердиев А.Р. Результаты научных исследований поверхностного водосброса Курпсайской ГЭС // Научное обеспечение как фактор устойчивого развития водного хозяйства. – Тараз: Тар.ГУ им. М.Х. Дулати, 2005. – С. 335–338.
3. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны // Годовой отчет о НИР по проекту МНТЦ № KR-1130. – Бишкек, 2006. – 214 с.
4. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Металлургия, 1969. – 300 с.
5. Финни Д. Введение в теорию планирования эксперимента. – М.: Наука, 1970. – 287 с.
6. Гинберг А.М. и др. Оптимизация технологических процессов в гальванотехнике. – М.: Машиностроение, 1972. – 128 с.