

## Гидравлика и инженерная гидрология

УДК 502/504:627.83

*Н. П. Лавров, доктор техн. наук, профессор*

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

*В. А. Трофименцева, аспирантка*

Кыргызско-Российский славянский университет, Кыргызстан

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛЬНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КОНЦЕВОГО УЧАСТКА ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДОСБОРА КУРПСАЙСКОЙ ГЭС

*В статье описываются экспериментальные исследования водяной струи, отбрасываемой с концевого участка поверхностного водосброса Курпсайской ГЭС, выполненные на физической модели в масштабе 1:75.*

*This article contains experimental researches of the water stream thrown away from the end part of the surface spillway of the Kurpsai hydroelectric power station. These researches were made using scaled physical model (scale 1:75).*

Построенная в середине 80-х гг. прошлого века в Кыргызской Республике на реке Нарын Курпсайская плотина является типичным вариантом водосливных бетонных плотин. Ее высота составляет 113 м, ширина по гребню — 364,0 м. Гидроузел имеет поверхностный и глубинный водосбросы (предназначенные для удаления излишков воды в нижний бьеф сооружения).

Поверхностный водосброс Курпсайской ГЭС имеет один пролет шириной 16 м с постепенным сужением в плане к отводящему туннелю до 10 м. Проектный расход водосброса  $Q$  при отметке НПУ 724,0 м составляет

1500 м<sup>3</sup>/с, при ФПУ 725,0 м  $Q = 1680$  м<sup>3</sup>/с [1].

Однако фактически пропускаемый расход воды через поверхностный водосброс Курпсайской ГЭС ограничивается величиной 450 м<sup>3</sup>/с. Это связано с тем, что длина распространения отбрасываемого с концевого участка поверхностного водосброса потока и водяной пыли превышает проектные характеристики, что приводит к водонасыщению левого склона реки Нарын, способствуя образованию оползневых явлений в нижнем бьефе сооружения [1]. Кроме того, при пропуске расходов более 450 м<sup>3</sup>/с начинается подмыв опоры

ЛЭП-220 и проникновение отброшенной струи в траншею силового кабеля, что создает аварийную ситуацию на энергетическом объекте.

Авторами разработана методика проведения экспериментальных исследований данного водосбросного сооружения на гидротехнической модельной площадке ОАО «Кыргызводпроект» [2].

Экспериментальные исследования поверхностного водосброса имеют следующую цель: совершенствование конструкции гасителей концевой части поверхностного водосбора для пропуска проектных расходов воды, не влекущего за собой водонасыщения и опасных размывов склона поймы реки Нарын.

В данной статье представлен первый этап этих исследований, заключающийся в сравнении расчетных, модель-

ных и натуральных характеристик водяной струи, отбрасываемой существующей конструкцией концевой части поверхностного водосброса Курпсайской ГЭС.

Физическая модель гидроэлектростанции выполнена из бетона и дерева в масштабе 1:75. Масштаб моделирования выбирали из условий конструктивных возможностей модельной площадки и соблюдения автомодельности, по Рейнольдсу [3].

Гидротехническая модельная площадка ОАО «Кыргызводпроект» размещается в нижнем бьефе плотины Аламединского отстойника, из которого и снабжается речной водой. Модельная установка представляет собой транзитный лоток водоската 1 с участками переменного уклона такой же величины, что и на натурном объекте (рис. 1).

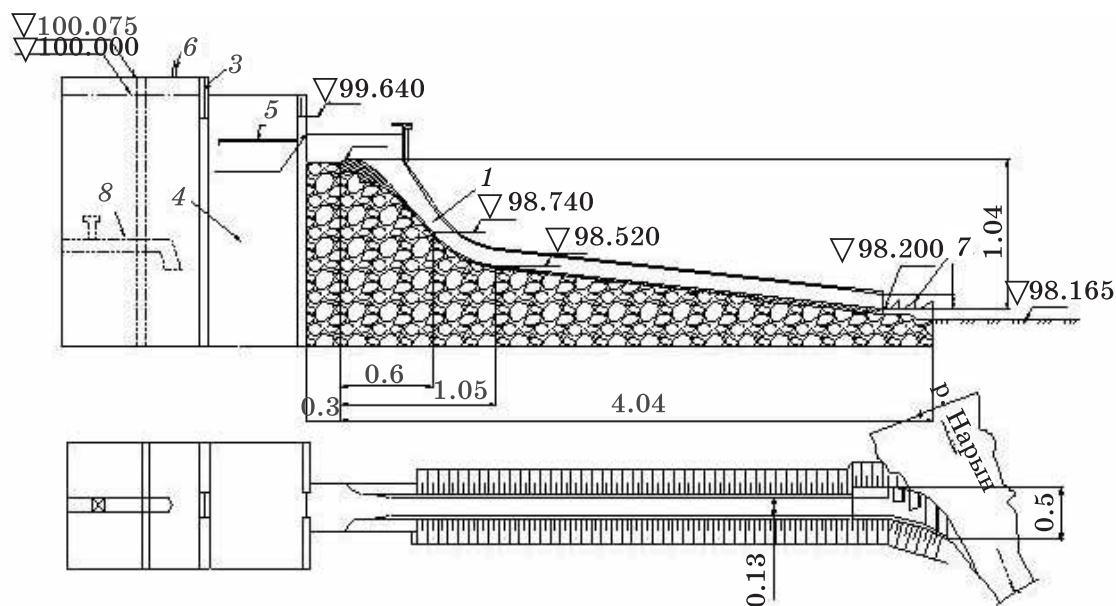


Рис. 1. Схема модельной установки: 1 — водоскат; 2 — колодец; 3 — мерный водослив; 4 — успокоительный колодец; 5 — сетчатый гаситель; 6 — задвижка; 7 — концевой участок поверхностного водосброса; 8 — задвижка

Модель водоската 1 поверхностного водосброса прямоугольного сечения выполнена из бетона, концевой участок 7 модели изготовлен из дерева. Общий перепад отметок от входной части до конца сооружения на модели составил 1,04 м, что соответствует разности этих отметок в натуре, равной 78,55 м. Подача воды на модельную установку осуществлялась самотеком из напорного

бассейна гидротехнической модельной площадки по трубе диаметром 400 мм через задвижку для регулирования расхода 8 в колодец 2, на выходе из которого устанавливали мерный треугольный водослив Томсона 3, из которого вода попадала в успокоительный колодец 4 с сетчатым гасителем 5 и далее во входную часть водосброса 1. Максимальный расход водоподачи на модель-

ную установку — 40 л/с.

Установку и контроль высотных отметок в контрольных точках выполняли нивелиром 2Н-10Л. Расход по мерному водосливу 3 рассчитывали по формуле Кинга [1]. Напор над мерным водосливом определяли мерной иглой (шпитценмасштабом) с точностью отсчета 0,1 мм и контролировали путем геометрического нивелирования по специальной рейке с ценой деления 1 мм. Кроме того, с помощью объемного метода выполняли контрольные замеры расхода воды в нижнем бьефе водосброса.

При изучении истечения струи из концевой участка 7 поверхностного водосброса, представляющего собой плиту в форме неправильного выпуклого многоугольника, снабженную тремя расширяющимися в плане трамплинами, необходимо было зафиксировать траекторию и плановый ареал отбрасываемой струи. При различных величинах напоров и расходов воды, пропускаемых через водосброс, фиксировали длину отлета компактной струи, высоту и ширину распространения водяной пыли, а также направление оси отбрасываемой струи. При этом начальный расход воды на модели соответствовал натурному расходу воды (300, 350, 400 и 450 м<sup>3</sup>/с) при совместном испытании поверхностного водосброса, которое проводили сотрудники Кыргызско-Российского славянского университета и каскада

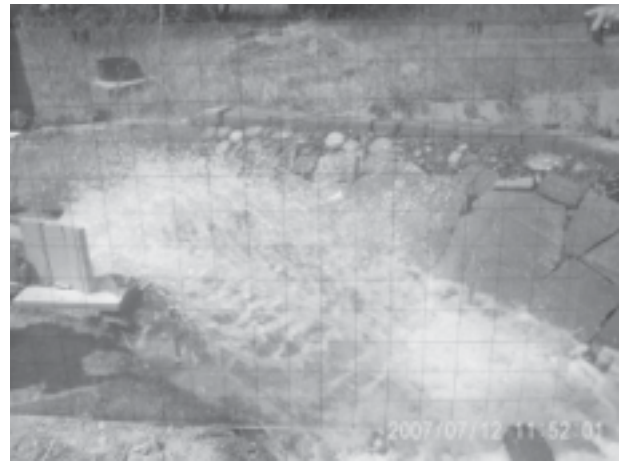


Рис. 2. Проведение модельных исследований по изучению траектории струи в нижнем бьефе поверхностного водосброса Курпсайской ГЭС

Токтогульских ГЭС в 2004 г. [2].

Координаты траектории компактной части струи при ее отлете фиксировали с помощью стандартной 20-метровой мерной ленты и нивелира 2Н-10Л с точностью взятия отсчетов до 1 мм.

Кроме нивелирования, траекторию струи фиксировали с помощью фотосъемки на фоне специальной координатной сетки, нанесенной на прозрачный лист из оргстекла (рис. 2).

Полученные на модели экспериментальные данные были пересчитаны для натуральных данных с учетом масштаба модели. Затем расчетные значения сопоставили со значениями для струй с трамплинов, рассчитанных по известной методике [4, 5]. Максималь-

Таблица 1

Сравнение расчетных и опытных параметров струи

Расход, м <sup>3</sup> /с		Длина отлета струи, м			Отклонение от расчета, %	Ширина струи в плане, м			Отклонение от расчета, %
Q <sub>н</sub> (натурный)	Q <sub>м</sub> (модельный)	по расчету	на модели	в пересчете на натурные данные		по расчету	на модели	в пересчете на натурные данные	
300	0,0061	69,2	0,95	71,2	+2,9	88,0	1,15	86,2	-2,0
350	0,0072	74,3	1,00	75,0	+0,9	93,3	1,20	90,0	-3,5
400	0,0082	79,2	1,05	78,7	-0,6	98,2	1,25	93,8	-4,5
450	0,0092	83,3	1,10	82,5	-1,0	102,4	1,30	97,5	-4,8
500	0,0103	87,5	1,15	86,2	-1,5	106,6	1,35	101,3	-5,0
600	0,0123	94,2	1,20	90,0	-4,5	114,0	1,45	108,8	-4,6
800	0,0164	101,4	1,40	105,0	+3,5	121,2	1,65	123,8	+2,1
1000	0,0205	113,3	1,50	112,5	-0,7	137,2	1,85	138,7	+1,1
1200	0,0246	129,0	1,60	120,0	-7,0	150,3	2,05	153,7	+2,3
1500	0,0308	139,4	1,75	131,5	-5,7	162,6	2,25	168,8	+3,8
1680	0,0345	148,4	1,85	138,8	-6,5	170,7	2,40	180,0	+5,4

ное отклонение опытной величины длины отлета струи от расчетной не превысило 7 %, а отклонение опытной величины ширины струи составило 5,5 % (табл. 1).

По данным экспериментов был построен плановый ареал распространения компактной струи (рис. 3).

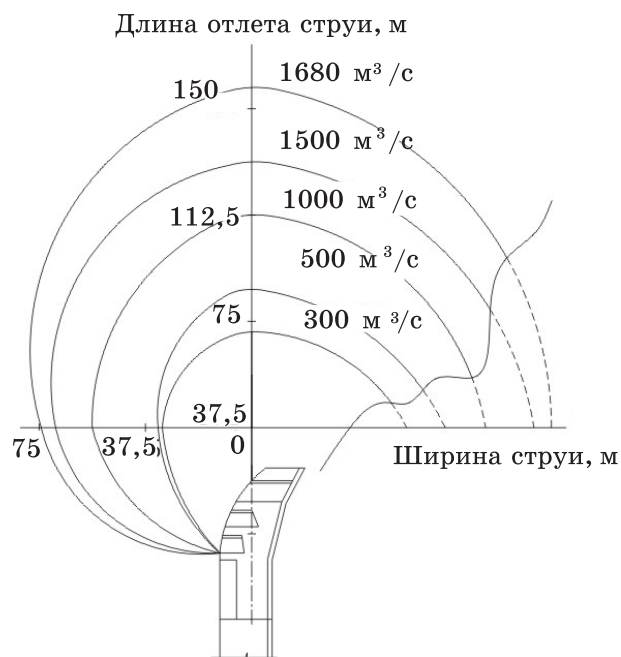


Рис. 3. Ареал распространения компактной струи на модельной установке

Анализируя данные расчетов натурных и модельных экспериментов, можно отметить, что в большинстве случаев дальность отброса струи в модельных исследованиях оказывается меньше наблюдаемой при натурных исследованиях. Занижение расчетом дальности отброса струи объясняется тем, что расчетные формулы получены для материальной точки, имеющей начальную скорость, равную средней скорости в начальном сечении при атмосферном давлении [4, 5]. В действительности, в начальном сечении скорость осевой струи больше средней скорости всей струи [4, 5]. Кроме того, в начальном сечении струи имеется избыточное давление. Еще большее отклонение длины отброса струи (до 46 %) наблюдается при сравнении модельных и натурных данных [2]. Например, для расхода 300 м<sup>3</sup>/с длина отлета струи на

модели при учете масштаба составляет 71,2 м, а в натуре — 133 м. Расхождение, по мнению авторов, объясняется тем, что компактная часть струи на модели распространяется на меньшую длину, чем в натуре, т. е. мелкодисперсные частицы воды на модели при пересчете на масштаб моделирования (1:75) превращаются в достаточно крупные фракции интенсивного дождя, которые могли быть приняты в натурных исследованиях за компактную часть струи. Следовательно, необходимо вводить специальный коэффициент пересчета модельных данных траектории струи на натуре.

В результате выполненных наблюдений также установлено, что при пропуске расходов более 600 м<sup>3</sup>/с динамическая ось потока заметно отклоняется влево по ходу течения воды, увеличивается ареал распространения водно-воздушных капель. Проведенные на модели исследования в целом подтверждают адекватность процессов, происходящих в натурных условиях, и негативные явления, возникающие при работе существующей конструкции поверхностного водосброса.

Подтверждается также необходимость конструктивного совершенствования существующего конечного участка поверхностного водосброса Курпсайской ГЭС, проведение дополнительных модельных исследований.

**Ключевые слова:** модельные гидравлические исследования, поверхностный водосброс, Курпсайская ГЭС, конечной участок, пропускаемый расход воды, проектный расход водосброса, модельная установка.

#### Список литературы

1. Курпсайская ГЭС на реке Нарын: рабочий проект [Текст] / Минэнерго: Гидропроект; руководитель А. А. Ходаков. — Шифр 1148. — Ташкент, 1984. — 54 с.
2. Оценка состояния и разработка программы исследований водосбросных сооружений Токтогульской и Курпсайской ГЭС [Текст] : отчет о НИР (итоговый) : ХС-06-04 / Кыргызско-Российский славянский университет ; Н. П. Лавров [и др.]. —

Кн. 3. — Бишкек, 2004. — 47 с.

3. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] / Под ред. П. Г. Киселева. — М. : Энергия, 1974. — 312 с.

4. Слисский, С. М. Гидравлические расчеты высоконапорных гидротехнических

сооружений [Текст] / С. М. Слисский. — М. : Энергия, 1979. — 400 с.

5. Высоцкий, Л. И. Управление бурными потоками на водосбросах [Текст] / Л. И. Высоцкий. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 240 с.

УДК 502/504:626.823:621.643:532

**Е. И. Шкуланов**, канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное научное учреждение  
«Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

**В. А. Храповский**, канд. техн. наук, профессор

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СООРУЖЕНИЙ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ТРУБАМИ

*Проведенные исследования сооружений с горизонтальными трубами помогли при изучении вопросов гидравлических режимов и пропускной способности сооружений. Установлено, что при незначительном затоплении входного сечения трубы водопроводящая труба включается в работу полунапорным режимом. Количество захватываемого воздуха при первой фазе напорного режима в трубчатых сопрягающих сооружениях, имеющих наклонную водопроводящую трубу, увеличивается.*

*The given researches of the structures with horizontal pipes helped when the questions of hydraulic regimes and discharge capacity of structures were under study. It was found that at the insignificant flooding of the pipe inflow cross-section the water conveyance pipe starts to work by a semi-pressure regime. The quantity of the taken air at the first phase of the pressure regime in tubular conjugating structures which have an inclined water conveying pipe increases.*

В лаборатории инженерной гидравлики НГМА (НИМИ) выполнены гидравлические исследования сооружений трубчатой конструкции, устраиваемых в качестве водовыпусков, регулирующих, подпорных или дорожных сооружений на оросительной сети.

Конструкция исследованных сооружений включает следующие элемен-

ты: входную часть — типовой входной оголовок с параллельными ныряющими стенками; водопроводящую часть — горизонтально уложенную железобетонную трубу круглого сечения; выходную часть — выполненную по типу «конверта» (рис. 1). Ширина входного оголовка  $b$  и длина водопроводящей трубы  $l$  в процессе исследований изменялись

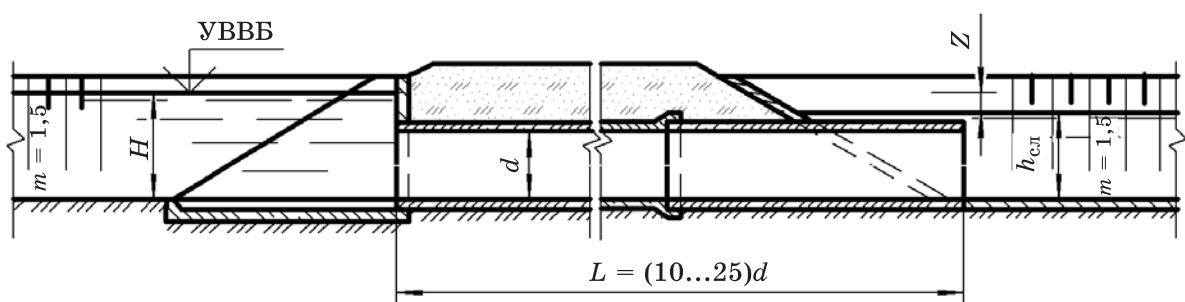


Рис. 1. Схема трубчатого сооружения