

УДК 627.838 (575.2) (04)

**ИССЛЕДОВАНИЯ МЕСТНЫХ РАЗМЫВОВ НИЖНЕГО БЬЕФА  
ОРТО-ТОКОЙСКОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДОСБРОСА***Н.П. Лавров* – докт. техн. наук, проф.*А.С. Костина* – аспирант

Outcomes of modeling researches of different variants of fastening channel downstream of Orto-Tokoy surface spillway are given.

При проведении модельных исследований [1] реконструируемого поверхностного катастрофического водосброса Орто-Токойского водохранилища временной творческой группой КРСУ наряду с гидравлическими исследованиями входного и транзитного участков водосброса были проведены исследования местных размывов в нижнем бьефе данного сооружения.

Экспериментальные исследования были проведены на физической модели, размещенной на гидротехнической площадке АООТ "Кыргызводпроект" с масштабом моделирования  $\alpha=35$ . Исследования проводились для пяти расходов модели  $Q_{mod}$ , равных 3,45; 12,20; 23,90; 30,00; 35,63 л/с, соответствующих расходу 25,00; 88,42; 173,21; 217,5 и 258,22 м<sup>3</sup>/с для природы.

Модельные исследования размывов в нижнем бьефе трамплина Орто-Токойского водосброса для естественного грунта поймы р. Чу, выполненные в начале 50-х годов канд. техн. наук И.Н. Суровой под руководством докт. техн. наук, проф. М.С. Вызго в гидротехнической лаборатории САНИИРИ [2] анализировались на модели аналогичного масштаба.

В отличие от проведенного нами моделирования всего водосброса, в лаборатории САНИИРИ был исследован только концевой участок быстротока с рассеивающим трамплином, который ошибочно именуется авторами "виражом".

В экспериментах И.Н. Суровой были различные варианты конструкции концевого трамплина, начиная с венца трамплина, имеющие глубокие прорезы между зубьями, и заканчивая рассеивающим трамплином, вошедшим в проект реконструкции. Опыты проводились на размываемой модели из песка с небольшими включениями гравия для пяти расходов природы:  $Q_{nat}=11,0; 30,0; 70,0; 147,0$  и  $270,0$  м<sup>3</sup>/с. Время проведения каждого опыта, т.е. время размыва нижнего бьефа при каждом расходе было равно 5,00 ч. Отметка дна отводящего русла так же, как и в наших опытах, составляли 1714,0 м.

Интенсивные размывы естественного грунта по контуру нижнего зуба трамплина наблюдались в опытах САНИИРИ [2] при малых расходах. Для расходов  $Q=11,0$  м<sup>3</sup>/с и  $Q=30,0$  м<sup>3</sup>/с они были одинаковыми и составили  $H_p=2,6$  м (отметка дна ямы размыва у сооружения равна 1711,4 м). Характерно, что при расходе  $Q=70,0$  м<sup>3</sup>/с интенсивность размыва нижнего бьефа была немного больше ( $H_p=3,4$ м).

При дальнейшем увеличении расхода до нормального паводкового (по прежним нормам  $Q=147,0$  м<sup>3</sup>/с) размывы в месте падения струи на расстоянии 45,5 м от сооружения в опытах САНИИРИ [2] достигали отметки 1708,4 м, т.е. глубина ямы размыва была равна 5,6 м.

При максимальном расходе  $Q=240,0$  м<sup>3</sup>/с (катастрофический паводковый расход 0,01 %

обеспеченности по прежним нормам) размывы в отводящем русле вблизи зоны падения струи на расстояние 61,2 м от трамплина достигали отметки 1706,1 м, т.е. максимальная глубина ямы размыва по варианту САНИИРИ составила 7,9 м. Следует отметить, что наибольшая интенсивность местных размывов в опытах И.Н. Суровой [2] при максимальных расходах наблюдалась не на оси потока, а у жестких боковых стенок модели, что объясняется слабым сцеплением грунта (песка) у этих стенок, находящихся в воде.

Проектный вариант крепления нижнего бьефа Орто-Токойского водосброса, разработанный фирмой "Temelsu/GIBB", выигравшей тендер на проектирование данного объекта [3], представляет собой (рис. 1, 2) несимметричную суживающуюся в плане фигуру. По всей ее площади сплошным слоем выполнена наброска 1 в два слоя камня диаметром 60 см. Кроме того, по нижнему контуру рассеивающего трамплина 2 выполнен верхний зуб 3

глубиной 4 м из камня того же диаметра. По всему периметру крепления также предусмотрено устройство малого зуба 4 из того же материала, т.е. камня диаметром 60 см. Ниже слоя наброски 1 сохраняется естественный грунт 5 поймы р. Чу.

Для моделирования наброски и грунта поймы по варианту "Temelsu/GIBB" нами были выполнены предварительные расчеты диаметров размываемого грунта модели, а также масштаба размыва. По данным САНИИРИ [2], в нижнем бьефе Орто-Токойского водосброса средневзвешенный диаметр натурального грунта составляет  $d_{ср.н}=31,8$  мм и средняя гидравлическая крупность  $U_{ср.н}=35,4$  см/с. Согласно принятому масштабу моделирования для макетных размеров  $\alpha=35$ , средневзвешенный диаметр размываемого грунта модели (песка) был равен  $d_{ср.м}=\sum d_i P_i / 100 = 1,1$  мм, а средняя гидравлическая крупность грунта модели –  $U_{ср.м} = 5,98$  см.

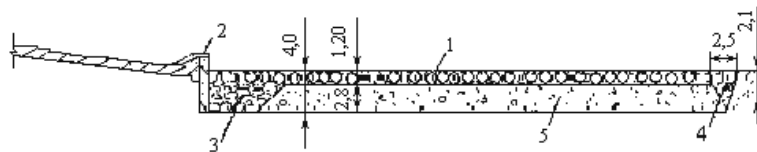


Рис. 1. Продольный профиль модели крепления нижнего бьефа катастрофического водосброса по варианту "Temelsu/GIBB".

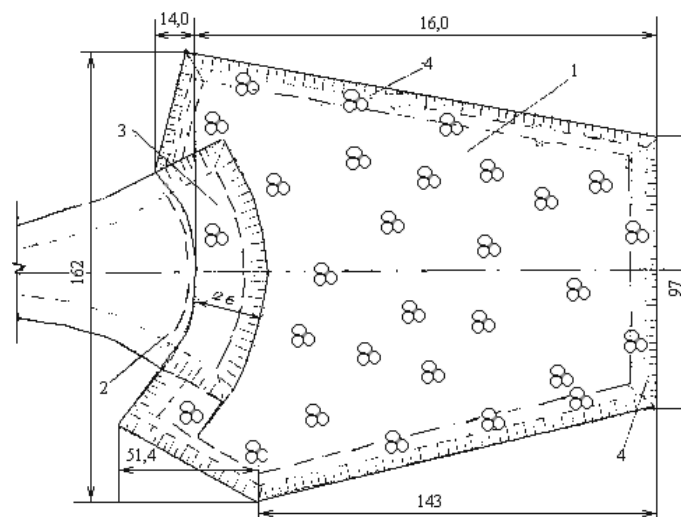


Рис. 2. План модели крепления нижнего бьефа катастрофического водосброса по варианту "Temelsu/GIBB".

Зависимость глубины размыва от расхода водосброса в проектном варианте крепления

Расход модели, л/с	3,45	12,20	23,90	30,00	35,63
Расход природы, м <sup>3</sup> /с	25,00	88,42	173,21	217,5	258,22
Максимальная глубина размыва (модель), см	2,7	2,34	7,23	11,31	17,43
Максимальная глубина размыва (натура), м	0,94	0,82	2,53	3,96	6,10

Ввиду того, что по расчету часть диаметров модельных фракций получилась очень малой  $d_{ср.м}=0,015$  мм, что соответствует пылевидным связным частицам, согласно рекомендации НИМИ [4] они были заменены на более крупные песочные фракции, соблюдая примерное равенство средневзвешенного диаметра (расхождение составляло 4%). Для отсыпки, имеющей по проекту в натуре диаметр 60 см, диаметр фракций на модели был принят равным 17,1 мм.

Время проведения каждого опыта всех серий экспериментов было равно, согласно рекомендациям [2, 4], 6.00 ч (см. таблицу).

За счет достаточно мощного зуба по периметру трамплина, устроенного от отметки поверхности крепления, равной 1714,0 м, до отметки 1710,0, т.е. на глубину 4,0 м, размыв в боковой зоне при малых расходах был минимальным и не превышал величины 0,94 м при расходе  $Q=25,0$  м<sup>3</sup>/с.

Следует также отметить, что устройство разделительной стенки-детурбулизатора [5] на водоскате быстротока оказало значительное положительное воздействие на уменьшение размывов в нижнем бьефе (за счет уменьшения скоростей потока) как при максимальных, так и при минимальных расходах ( $Q<25,0$  м<sup>3</sup>/с), при которых за трамплином образовывалась значительная воронка размыва.

Увеличение расхода до 88,42 м<sup>3</sup>/с практически не сказалось на изменении размыва, так как происходило распределение струи, стекающей с трамплина на большой площади, чем в первом опыте, когда она концентрируется в боковых каналах – треугольных вырезах трамплина.

При расчетном расходе  $Q_{расч}=173,2$  м<sup>3</sup>/с глубина воронки размыва возросла больше чем вдвое ( $H_p=2,53$  м), так как в месте падения струи с течением времени началось интенсив-

ное вымывание тонкого и слабого слоя крепления и образование гряды из этих фракций крепления диаметром 60 см в концевой части крепления. Однако следует заметить, что эта величина размыва все же в 2,2 раза меньше, чем для модели САНИИРИ без крепления.

Глубины размыва на модели складываются из двух составляющих: глубины размыва слоя крепления и естественного нижнего слоя.

При повышении расхода до форсированного  $Q_{форс}=258,22$  м<sup>3</sup>/с на модели проектного варианта крепление концевой части участка нижнего бьефа с толщиной слоя 1,2 м уже в первые часы опыта почти полностью вымывалось до глубины 6,1 м и частично транспортировалось в отводящий канал, а частично откладывалось в виде гряды в боковых частях нижнего бьефа.

Таким образом, эксперименты с проектным вариантом крепления показали, что размывы по сравнению с естественным грунтом нижнего бьефа (вариант САНИИРИ) здесь уменьшаются в 2,5 раза при малых и средних расходах и в 1,3 раза – при больших расходах катастрофического водосброса. В то же время было выявлено, что крепление центральной части воронки размыва тонким слоем камня (1,2 м) наибольшего диаметра (60 см) малоэффективно.

В связи с этим был предложен усовершенствованный вариант крепления нижнего бьефа за трамплином Орто-Токойского водосброса. Рекомендуемый нами вариант крепления нижнего бьефа Орто-Токойского поверхностного водосброса [1], исследованный на модельной установке АООТ "Кыргызводпроект", представляет следующую конструкцию.

Предлагаемое крепление имеет симметричную в плане форму (рис. 3, 4). За существующим бетонным зубом трамплина в верхней части крепления рекомендуется устроить от-

мостку булыжником с диаметром то 0,7 м до 1,1 м глубиной 2,0 м (до отм. 1212,0) и шириной по верху 14,0 м.

В концевой части крепления нижнего бьефа целесообразно устроить барраж, одновременно выполняющий роль водобоя, из каменной отмостки того же диаметра шириной по верху 20,0 м и глубиной 4,0 м (до отм. 1710,0 м). Боковая часть крепления имеет отмостку того же диаметра камня шириной полосы 5,0 м и глубиной 2,0 м (от отм. 1712,0).

Центральная часть воронки размыва за трамплином длиной 19,0 м засыпается естественным грунтом до отметки 1714,0 м. Поскольку при проектном диаметре отсыпки нижнего бьефа для натуре  $d_{нат} = 60$  см крепление ин-

тенсивно размывалось, в предлагаемом варианте диаметр фракций был увеличен от 70 см до 110 см.

Приняв одинаковый процентный состав отсыпки описанных выше участков нижнего бьефа по фракциям, средневзвешенная крупность фракций отсыпки в натуре составляла 85 см (для модели 23,6 мм).

Анализ детальной съемки размыва предложенного варианта комбинированного крепления показывает, что деформации грунта при малых расходах  $Q=25,0$  м<sup>3</sup>/с были примерно одинаковы с проектным вариантом (рис. 5), где диаметр фракций отсыпки сразу за трамплином был меньше, а глубина зуба больше, чем в предлагаемом варианте (см. рис. 1 и 2).

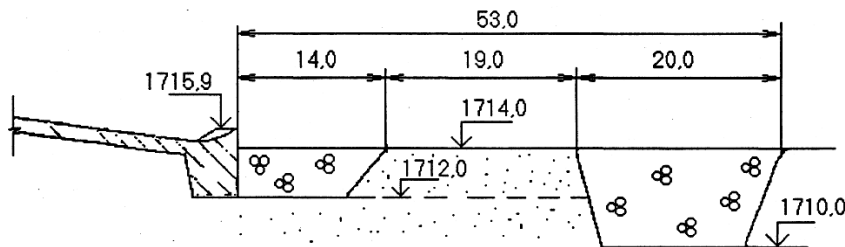


Рис. 3. Продольный профиль предлагаемого крепления нижнего бьефа катастрофического водосброса Орто-Токойского водосброса.

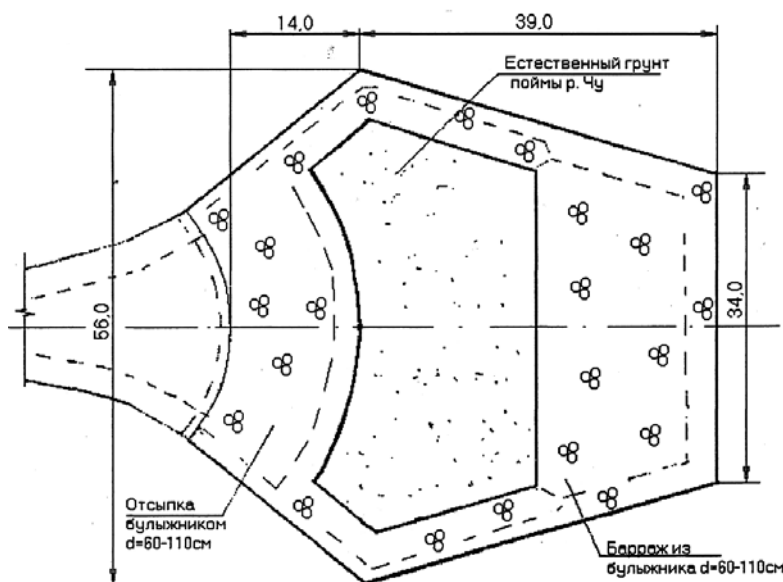


Рис. 4. План предлагаемого крепления нижнего бьефа водосброса (размеры, м).

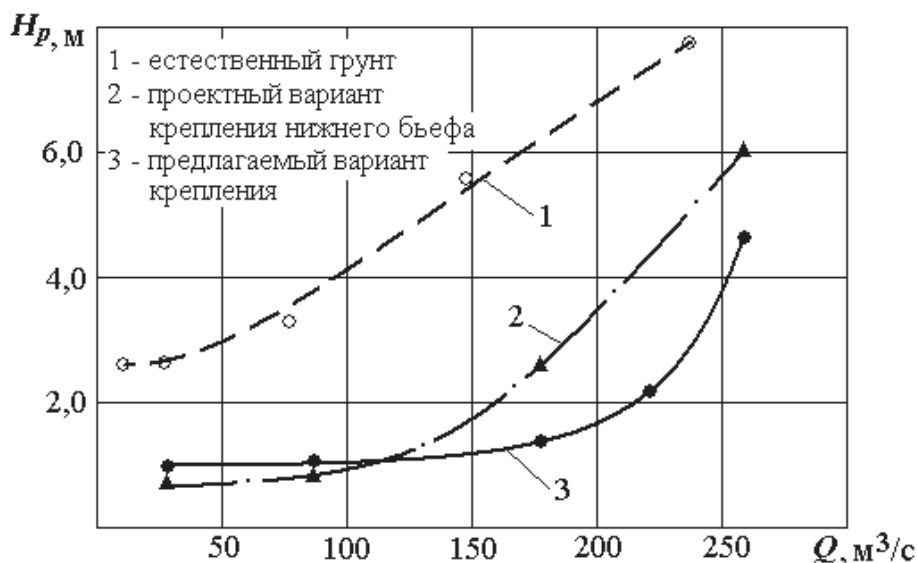


Рис. 5. Интенсивность размыва нижнего бьефа при различных типах крепления.

Наибольший размыв верхнего зуба ( $H_p=1,09$  м) при данном расходе наблюдается по контуру отсыпки.

При расчетном расходе  $Q_{расч}=173,2$  м<sup>3</sup>/с максимум размыва ( $H_p=1,38$  м) был отмечен в центральной части воронки на удалении 35,0 м от трамплина в зоне естественного грунта, однако эта величина не превышала глубины размыва, полученной в зоне падения струи при проектном варианте крепления ( $H_p=2,51$  м).

При больших расходах  $Q=217,5$  м<sup>3</sup>/с и  $Q_{форс}=258,2$  м<sup>3</sup>/с преимущество предлагаемого крепления над проектным было еще заметнее (см. рис. 6), так как зона падения струи приходилась на барраж, одновременно служащий водобоем. Максимальный размыв, полученный в этих сериях опытов, при расходе  $Q_{форс}=258,2$  м<sup>3</sup>/с составил 4,49 м вместо 6,1 м для проектного варианта. Кроме этого, уменьшение деформаций в предлагаемом варианте было следствием принятой здесь симметричной в плане формы крепления нижнего бьефа.

В проектном варианте наибольшая глубина ямы размыва (до 6,1 м) наблюдалась в более узкой левой части несимметричного крепления при сопряжении с естественным грунтом. Даже при укреплении этих участков в проектной форме крепления жесткими стенками, размывы существенно не уменьшались

из-за слабого сцепления отсыпки со стенками при динамическом воздействии струи и образовании интенсивных обратных токов воды.

В предлагаемом варианте крепления (рис. 3 и 4) в месте падения струи также образовались водовороты, но на более широком фронте. Поток двигался по всему сечению отводящего русла в прямом направлении. В конце барража после 6-часового опыта при максимальных расходах образовалась гряда из донных фракций, вынесенных из центральной части крепления.

При расходе  $Q=217,5$  м<sup>3</sup>/с отметка верха этой гряды была равна 1715,48 м, а при расходе  $Q_{форс}=258,2$  м – соответственно 1714,58 м, т.е. превышение над средним уровнем отсыпки в первом случае составило 1,48 м. В центральной части гряды поток промывал канал глубиной 0,26–0,58 м по отношению к среднему уровню отсыпки и шириной на этом уровне от 12 до 15 м.

Данная конструкция крепления, показавшая наибольшую устойчивость и надежность при моделировании, была рекомендована при реконструкции Орто-Токойского водосброса.

Следует отметить, что при строительстве Орто-Токойского катастрофического водосброса крепление нижнего бьефа было выполнено комбинированным в соответствии с на-

шими рекомендациями (рис. 3, 4), но несимметричной в плане формы. Левая часть была заужена по сравнению с правой в среднем на 2,8 м для того, чтобы вписать контуры сооружения в очертание скального откоса реки Чу.

#### Литература

1. Отчет о модельных исследованиях катастрофического водосброса Орто-Токойского водохранилища // АООТ "Кыргызводпроект". – Бишкек, 2000. – 52 с.
2. Отчет на тему "Лабораторные гидравлические исследования рассеивающего виажа в конце быстрогоката катастрофического сброса Орто-Токойского водохранилища" // Вызго М.С., Сурова Н.Н. – Ташкент: САНИИРИ, 1954. – 76 с.
3. Реконструкция катастрофического водосброса Орто-Токойского водохранилища. Кн. 1 // Отчет АООТ "Кыргызводпроект". – Бишкек, 2000. – С. 4–15.
4. Овчаренко И.Х., Тищенко А.И. Некоторые вопросы гидравлики сооружений на мелиоративных системах. – Новочеркасск: НИМИ, 1978. – 114 с.
5. Лавров Н.П., Костина А.С. Устройство для гашения катящихся волн на поверхностном катастрофическом водосбросе Орто-Токойского водохранилища // Гидротехническое строительство. – № 10, 2002. – С. 34–38.