

Исабеков Т.А., Атаманова О.В., Аджыгулова Г.С.

**НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СООРУЖЕНИЙ И КАНАЛОВ СИСТЕМ КАСКАДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

T.A. Isabekov, O.V. Atamanova, G.S. Adzhgulova

**NATURE STUDY OF HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF STRUCTURES AND
CHANNEL CASCADE OF REGULATION**

УДК 626.824: 626.822

В работе приводятся результаты натурных исследований гидравлических характеристик потока на сооружениях систем каскадного регулирования в Чуйской долине Кыргызстана.

This paper presents the results of field studies of hydraulic characteristics of flow structures cascade control systems in the Chui valley Kyrgyzstan.

Для уточнения особенностей динамических процессов, происходящих в бьефах систем каскадного регулирования, в августе 2013 г. коллективом ученых кафедры «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» Кыргызско-Российского Славянского университета были проведены натурные исследования авторегуляторов уровня конструкции Э.Э. Маковского [1], расположенных на головном сооружении Атбашинского магистрального канала и на канале Совхозный на ПК24+80 в Аламудунском районе Чуйской области Кыргызстана.

Целью натурных исследований являлось уточнение гидравлических характеристик затворов-автоматов конструкции Э.Э. Маковского, а также подтверждение достоверности теоретических зависимостей для гидравлических процессов в системах каскадного регулирования.

Состав натурных исследований на каналах Совхозный и Атбашинский магистральный:

- 1) исследование колебаний уровней в нижнем бьефе перегораживающего сооружения при имитации возмущения в створе, расположенном непосредственно за сооружением;
- 2) исследование колебаний уровней в верхнем бьефе перегораживающего сооружения при имитации возмущения в створе, расположенном непосредственно перед сооружением;
- 3) изучение времени добегающей прямой отрицательной и прямой положительной волн при различных значениях возмущений в нижнем бьефе сооружения;
- 4) изучение времени добегающей обратной отрицательной и обратной положительной волн при различных значениях возмущений в верхнем бьефе сооружения;
- 5) исследование скорости перемещения волн возмущения;
- 6) Исследование пропускной способности затворов-автоматов конструкции Э.Э. Маковского.

Натурные исследования колебаний уровней в нижнем бьефе перегораживающего сооружения на ПК24+80 канала Совхозный проводились при

искусственном создании возмущения в створе, расположенном непосредственно за сооружением.

Перегораживающее сооружение на ПК24+80 канала Совхозный оборудовано двумя прислонными затворами-автоматами конструкции Э.Э.Маковского. При проведении исследований левый затвор оставался полностью закрытым, а регулирование уровней воды в бьефах сооружения осуществлялось только правым затвором. Расходы воды в канале назначались $Q = 1,5; 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$ исходя из возможных на момент проведения исследований эксплуатационных условий канала. Изменение расходов воды в канале обеспечивалось открытиями затворов на головном сооружении канала Совхозный, расположенного на наливном Ала-Арчинском водохранилище. Открытия затвора менялись на величину, последовательно прикрывая затвор, создавая тем самым возмущения $\Delta Q_n / Q = -0,1; -0,2; -0,25$ в виде единичного скачка.

При каждом из возмущений замерялись глубины в нижнем бьефе сооружения через моменты времени

$t = 10 \text{ мин}, 20 \text{ мин}, 35 \text{ мин}, 55 \text{ мин},$

$1 \text{ ч } 15 \text{ мин}; 1 \text{ ч } 35 \text{ мин}.$

По результатам замеров глубин в нижнем бьефе сооружения были построены графики $h/h_0 = f(t)$ для заданного значения $\Delta Q/Q$ (рис. 1). Для сравнения на построенные графики нанесены теоретические значения относительных глубин, установленные Исабековым Т.А., в зависимости от времени после возникновения возмущения.

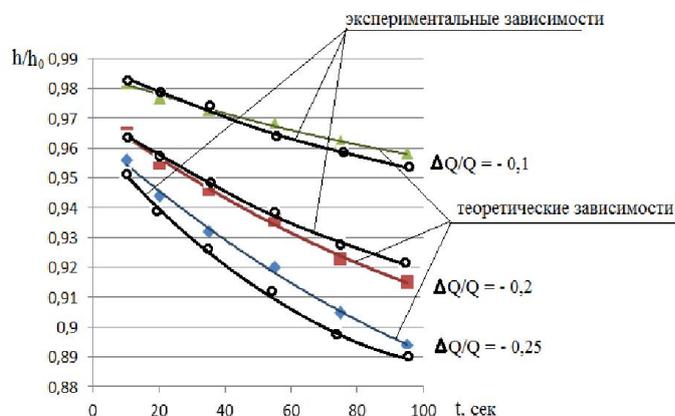


Рис. 1. Глубины в нижнем бьефе сооружения при нанесении возмущений

Экспериментальные кривые достаточно хорошо «ложатся» на теоретические данные. Максимальные отклонения (-1,4...2,1%) наблюдаются в начальные периоды времени ($t=0...80$ мин), это можно объяснить не достаточно быстрым принудительным открытием затвора.

Исследование колебаний уровней в верхнем бьефе перегораживающего сооружения при создании возмущения в створе, расположенном непосредственно перед сооружением, проводились по аналогии с исследованиями глубин в нижнем бьефе сооружения вблизи затвора. При изменении открытия затвора $\Delta a = 0,11; 0,26; 0,35$ м

(затвор прикрывался на указанную величину Δa), что соответствовало возмущению

$$\Delta Q_x / Q = -0,1; -0,2; -0,25,$$

замерялись глубины в верхнем бьефе сооружения в моменты времени

$$t = 10 \text{ мин}; 20 \text{ мин}; 35 \text{ мин}; 55 \text{ мин};$$

$$1 \text{ ч } 15 \text{ мин}; 1 \text{ ч } 35 \text{ мин}.$$

По результатам замеров глубин в верхнем бьефе сооружения были построены графики $h / h_0 = f(t)$ для заданного значения $\Delta Q_x / Q$ (рис. 2).

Для сравнения на построенные графики нанесены теоретические значения относительных глубин.

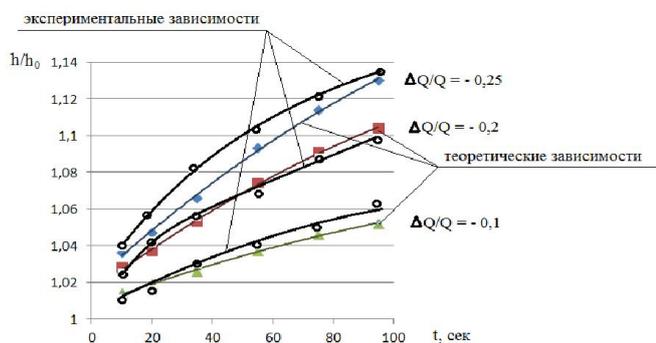


Рис. 2. Глубины в нижнем бьефе сооружения при нанесении возмущений

Положение экспериментальных кривых глубин $h / h_0 = f(t)$ в верхнем бьефе сооружения относительно теоретических демонстрирует, аналогично нижнему бьефу, некоторое отклонение +1,1...2,2%. Отклонения также наблюдаются в начальные периоды времени ($t=0...75$ мин), что можно объяснить не достаточно быстрым принудительным открытием затвора.

Натурное исследование времени добегания прямой отрицательной и прямой положительной волн при различных значениях возмущений в нижнем бьефе перегораживающего сооружения на канале Совхозный проводились следующим образом. На перегораживающем сооружении путем изменения открытия затвора создавались возмущения $+ \Delta Q / Q = 0,1; 0,2; 0,25$, в результате которых в

бьефе образовывалась прямая положительная волна. Время перемещения фронта волны от створа возмущения до створа контроля ($S = 300$ м) измерялось по секундомеру. Расстояние от сооружения до створа контроля измерялось геодезической рулеткой. Результаты замеров наносились на график $t = f(\Delta Q / Q)$ (рис. 3). После чего на этом же графике строилась расчетная зависимость $\tau_1^1 = f(\Delta Q / Q)$, где τ_1^1 – время добегания волны.

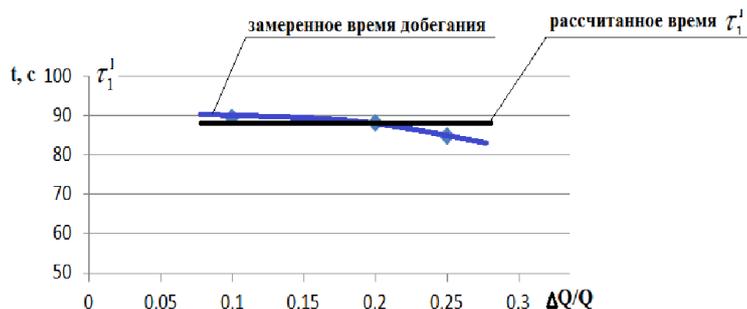


Рис. 3. Зависимость времени перемещения прямой положительной волны

Расчет времени добегания τ_1^1 проводился в соответствии с [2] применительно к звену каскада канала Совхозный.

Далее создавались возмущения $- \Delta Q / Q = 0,1; 0,2; 0,25$ и измерялось время перемещения фронта прямой отрицательной волны. Троекратная повторность замеров позволяла избежать случайной ошибки результатов измерений. Результаты замеров наносились на график $t = f(\Delta Q / Q)$ (рис. 4).

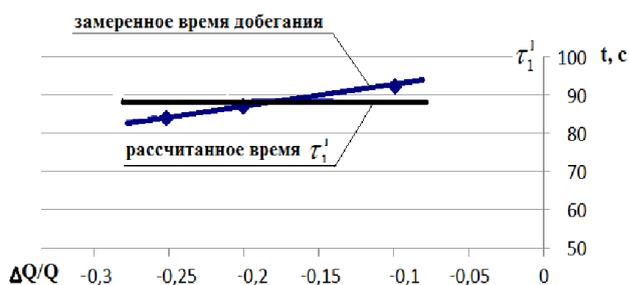


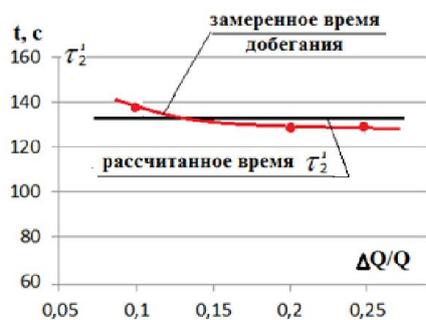
Рис. 4. Зависимость времени перемещения прямой отрицательной волны

На этот же график (рис. 4) наносились расчетные значения времени τ_1^1 добегания прямой отрицательной волны.

Сравнение экспериментальных и теоретических данных показывает хорошее совпадение результатов. Предельное отклонение составляет $\pm 4,4\%$. Это говорит о подтверждении теоретических выкладок результатами эксперимента.

Исследования времени добегания обратной отрицательной и обратной положительной волн

при значениях возмущений $\pm \Delta Q/Q = 0,1; 0,2; 0,25$ в верхнем бьефе перегораживающего сооружения на ПК24+80 канала Совхозный проводилось по аналогии с прямой волной. Результаты замеров времени добегания обратных волн в зависимости от величин возмущающих воздействий строились в



а

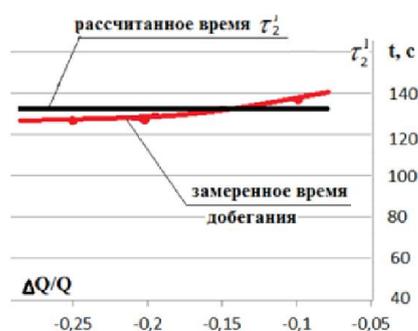
Рис. 5. Зависимость времени перемещения обратной

Хорошая сходимость теоретических и экспериментальных данных $\Delta t = (-3,2...+3,9) \%$ дает полное основание говорить об адекватности рекомендуемых теоретических зависимостей, полученных ранее докторантом Исабековым Т.А.

Следующим этапом натурных исследований было определение скорости перемещения волн возмущения.

Используя данные по времени перемещения прямой и обратной волн возмущения, определялись скорости перемещения этих волн. Исследования проводились на канале Совхозный на участке канала от ПК21+80 до ПК27+80. Волны возмущения

виде графиков (рис.5). На этот же график (рис.5) наносились расчетные значения времени τ_2^1 [2] добегания обратных положительной и отрицательной волн, рассчитанные для звена каскада канала Совхозный.



б

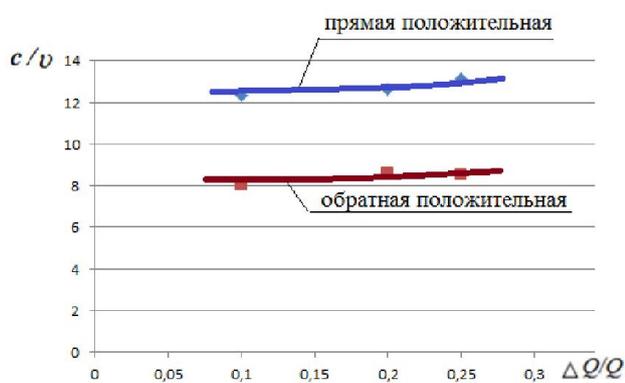
положительной (а) и отрицательной (б) волн

создавались изменением открытия затвора [3], расположенного на сооружении на ПК24+80. Во избежание случайной ошибки проводилась трехкратная повторность замеров времени прохождения волной возмущения расстояния $S_1 - S = 300 \text{ м}$ в верхнем бьефе и $S = 300 \text{ м}$ в нижнем бьефе сооружения. Полученные значения скоростей перемещения волн отражены в табл. 1 нанесены на график $c/v = f(t, \Delta Q/Q)$, где v – скорость потока в канале при заданных расходах $Q = 1,5; 2,0 \text{ м}$ (рис.6).

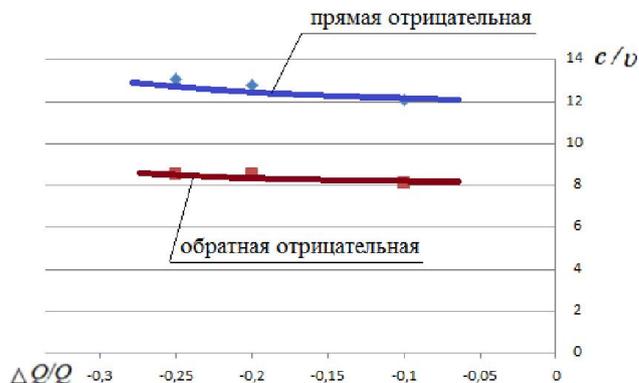
Таблица 1

Скорости перемещения волн возмущения на канале Совхозный

$\Delta Q/Q$	$t_{пр.пол}, \text{с}$	$c_{пр.пол}, \text{м/с}$	$t_{обр.пол}, \text{с}$	$c_{обр.пол}, \text{м/с}$	$\Delta Q/Q$	$t_{пр.отр}, \text{с}$	$c_{пр.отр}, \text{м/с}$	$t_{обр.отр}, \text{с}$	$c_{обр.отр}, \text{м/с}$
0,1	90,0	3,33	138,0	2,17	-0,1	92,0	3,26	137,0	2,19
0,2	88,2	3,4	129,0	2,32	-0,2	87,0	3,45	128,0	2,34
0,25	84,5	3,55	130,0	2,31	-0,25	85,0	3,53	128,0	2,34



а



б

Рис. 6. Скорости распространения прямых и обратных волн возмущения

Анализ рис. 6 показывает, что значение скорости распространения волны возмущения не зависит от знака возмущающего воздействия, а также практически не зависит от величины возмущения. Понятно также, что скорость прямой волны больше скорости обратной волны. Это объясняется дополнительным сопротивлением со стороны основного потока движению волне возмущения.

Исследования пропускной способности прислонных затворов-автоматов проводились на двух затворах перегораживающих сооружений: на головном сооружении Атбашинского магистрального канала и на канале Совхозный на ПК24+80 в Аламудунском районе Чуйской области Кыргызстана. На головном сооружении Атбашинского магистрального канала (АМК) проводились исследования свободного истечения из-под затвора, а на канале Совхозный на ПК24+80 изучался несвободный режим истечения из-под затвора.

В голове АМК расположено два одинаковых затвора конструкции Э.Э.Маковского, ширина каждого затвора $b = 3,0$ м, радиус $r = 2,5$ м. Левый затвор при проведении исследований оставался закрытым. Исследования пропускной способности проводились для правого затвора-автомата.

В процессе исследования пропускной способности прислонного затвора-автомата на головном сооружении АМК прослеживалось изменение уровня в нижнем бьефе, по которому определялся расход истечения. На сооружении расходы истечения через сооружение прослеживались при трех значениях открытий затвора $a = 0,4; 0,8; 1,2$ м, что соответствовало углам открытия затвора $\alpha = 8^\circ, 17^\circ, 27^\circ$.

Открытия затвора менялись принудительно. Напоры в верхнем бьефе сооружения замерялись по уровневой рейке. Результаты замеров дали возможность построить графические зависимости $Q/Q_{\max} = f(a/r, H/H_{\max})$ (рис. 7).

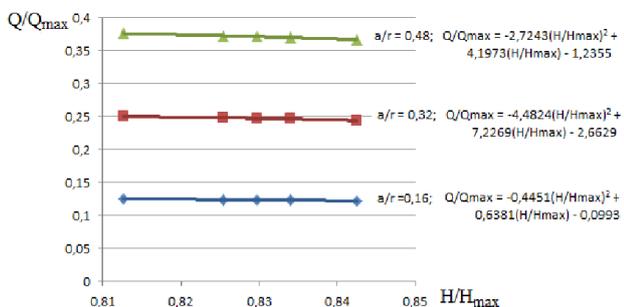


Рис. 7. Графические зависимости относительного расхода истечения через сооружение, оборудованное прислонным затвором-автоматом, в функции относительного напора на сооружении (свободный режим истечения)

Исследования пропускной способности прислонных затворов-автоматов конструкции Э.Э.Маковского в несвободном режиме истечения проводились на канале Совхозный на ПК24+80.

Методика проведения исследований была аналогична методике для свободного истечения.

Ранее отмечалось, что на ПК24+80 канала Совхозный расположено два одинаковых прислонных затвора конструкции Э.Э. Маковского, ширина каждого затвора $b = 2,8$ м, радиус $r = 2,25$ м. Левый затвор при проведении исследований оставался закрытым. Исследования пропускной способности проводились для правого затвора-автомата.

В процессе исследования пропускной способности прислонного затвора-автомата на канале Совхозный прослеживалось изменение уровня в нижнем бьефе, по которому определялся расход истечения. На сооружении расходы истечения через сооружение прослеживались при четырех значениях открытий затвора $a = 0,25; 0,35; 0,45; 0,55$ м, что соответствовало углам открытия затвора $\alpha = 4^\circ, 5^\circ, 8^\circ, 12^\circ$. Открытия затвора менялись принудительно. Глубины в верхнем и нижнем бьефах сооружения замерялись гидрометрической штангой. Расход воды, подаваемый на сооружение, регулировался цилиндрическим затвором на головном сооружении канала Совхозный, расположенном на наливном Ала-Арчинском водохранилище.

Результаты замеров и расчетов гидравлических параметров при несвободном истечении из-под затвора приведены на рис. 8.

Построенные зависимости позволяют проследить, каким образом изменяется глубина в нижнем бьефе сооружения и расход истечения из-под затвора в различных режимах при изменении открытия затвора. Зависимости $Q/Q_{\max} = f(a/r, H/H_{\max})$ для свободного и несвободного истечения, могут быть представлены в виде формул, показанных на рис. 7 для свободного и рис.8. для несвободного истечения.

Полученные зависимости (рис.7) и (рис.8) показывают, что относительные напоры в верхнем бьефе сооружения оказывают меньшее влияние на относительные отводимые расходы, чем открытия затворов.

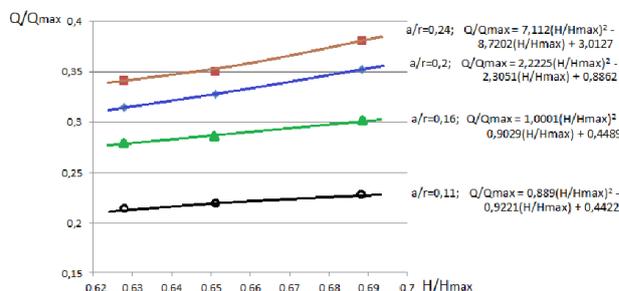


Рис. 8. Графические зависимости относительного расхода истечения через сооружение, оборудованное прислонным затвором-автоматом, в функции относительного напора на сооружении (несвободный режим истечения)

Зависимости $Q/Q_{\max} = f(a/r, H/H_{\max})$ в относительных единицах позволяют проанализировать изменение гидравлических параметров прислонных

затворов. Они могут быть также использованы для расчета гидравлических параметров прислонных затворов-автоматов.

По результатам сравнения натуральных замеров были сделаны **выводы**:

- Полученные в результате натурального эксперимента замеры глубин при возникновении возмущений в бьефах звена каскада подтверждают теоретические зависимости. Отклонение фактических глубин от расчетных (в относительных единицах) составляют 2...5%. Это может быть объяснено погрешностью при пересчете данных для разных каналов.
- Натурные исследования подтверждают теоретические данные по времени и скорости перемещения волн возмущения в начальном и конечном створах звена каскада.

- Полученные в натуральных условиях зависимости $Q/Q_{\max} = f(a/r, H/H_{\max})$ можно использовать для расчета параметров прислонных затворов-автоматов.

Литература:

1. А.с. № 257785 СССР, МКИ Е 02 В 13/02. Устройство для стабилизации уровней воды гидротехнического сооружения [Текст] / Э.Э. Маковский (СССР). – Оpubл. в 1969, Бюл. № 11. – 4 с.
2. Маковский Э.Э., Волчкова В.В. Автоматизированные автономные системы трансформации неравномерного стока. – Фрунзе: Илим, 1981. – 380 с.
3. Атаманова О.В. Курс лекций по основам автоматики и автоматизации процессов в гидротехническом строительстве: Учеб. пособие. – Б.: Изд-во КРСУ, 2009. – 232 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Мустафаев Ж.С.