

УДК 626.88

С. М. Васильев, А. И. Тищенко, Г. А. Сенчуков, В. Д. Гостищев
Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ СОПРЯГАЮЩЕГО СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ КАНАЛОВ МЕЛИОРАТИВНОЙ СЕТИ ПРЕДГОРНОЙ И ГОРНОЙ ЗОН

Целью работы является разработка и исследование усовершенствованной конструкции сопрягающего сооружения для каналов мелиоративной сети предгорной и горной зон. Данное сооружение представляет собой одноступенчатый перепад, обеспечивающий безаварийную транспортировку воды в каналах предгорной зоны орошения при резком перепаде рельефа местности. Сооружение обеспечивает свободный пропуск плавника (ветки, коряги, скошенный камыш и др.) из верхнего бьефа в нижний бьеф сооружения, чем обеспечивается предотвращение возможности перелива воды через дамбы подводящего канала, который происходит в результате затора сооружения плавником. За данным сооружением исключается возможность образования местного размыва в земляном русле отводящего канала. Материалом для исследований явилась физическая модель сооружения, на которой было выполнено 4 серии опытов с изменениями высоты перепада и конструкции водобойной части. Методы заключались в планировании количества проводимых опытов по теории планирования эксперимента, в методике их проведения и получении результатов при обработке материалов исследований. По результатам проведенных исследований было установлено, что наилучшим гасителем является водобойный колодец прямоугольного поперечного и продольного сечений. Близко к нему по гидравлическим характеристикам потока зарекомендовал себя водобойный колодец параболического очертания. Предпочтение водобойному колодцу прямоугольной формы было отдано, потому что он наиболее простой по конструкции и в связи с тем, что при строительстве водобойного колодца такой формы можно применить унифицированные железобетонные блоки заводского изготовления. Основным выводом данной работы заключается в том, что новое сопрягающее сооружение надежно в эксплуатации со сроком службы более 50 лет.

Ключевые слова: сопрягающее сооружение, конструкция водобойной части, гидравлические характеристики потока, унифицированные железобетонные блоки, надежность в эксплуатации, чрезвычайные ситуации.

S. M. Vasilyev, A. I. Tishchenko, G. A. Senchukov, V. D. Gostishchev
Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

IMPROVED DESIGN OF GRADE-CONTROL STRUCTURE FOR RECLAMATION CANALS OF PIEDMONT AND MOUNTAIN ZONES

The aim of the work is the development and study of an improved design of the grade-control structure for reclamation network canals of the piedmont and mountain zones. This structure is a single-stage cascade fall, providing safe water transportation in canals of the piedmont irrigation zone with a sharp drop in terrain. The structure provides free passage of drift wood (branches, snags, canted bulrush etc.) from the upstream to the downstream of the structure, thus preventing the possibility of water overflow through the dams

of delivery canal, which occurs as a result of the structure jam by drift wood. The possibility of a local erosion formation in the earthen bed of the diverting canal is excluded behind this construction. The material for research was the physical model of the structure, on which 4 series of experiments with elevation changes and the design of the hydraulic jump basin were conducted. The methods consisted in planning a number of experiments on the theory of experiment planning, in the methodology of their conducting and obtaining results at research materials processing. Based on the results of the conducted research it was found that the best baffle is the hydraulic jump basin of rectangular transverse and longitudinal sections. The hydraulic jump basin of a parabolic shape proved to be close to it in terms of the hydraulic characteristics of the flow. The rectangular-shaped hydraulic jump basin was preferred because it is the simplest in construction and it is possible to use factory-made standardized reinforced concrete blocks for the construction of a water well of this shape. The main conclusion of this work is that a new grade-control structure is reliable in operation with a lifetime of more than 50 years.

Key words: grade-control structure, hydraulic jump basin construction, hydraulic flow characteristics, unified reinforced concrete blocks, operational reliability, emergency situations.

Введение. Необходимость создания сопрягающего сооружения новой конструкции состоит в том, что те, которые построены по типовым проектам, пробыв в эксплуатации более 50 лет, утратили эксплуатационную надежность и экологическую безопасность оросительных систем [1–13]. Конструкции быстротоков с уступом, широко распространенные на каналах оросительных систем, обладают рядом недостатков, приводящих к нежелательным чрезвычайным ситуациям при их эксплуатации.

Эти недостатки заключаются в следующем [14, 15]:

- лоток быстроточной части (прямоугольного поперечного сечения) сужает русло канала более чем в 3 раза, способствуя этим образованию затора входной части, плывущими по каналу скошенной травой, корягами, ветками и др. плавником, приводящие к переливу воды через дамбы канала верхнего бьефа;

- в результате сужения русла, в быстроточной части создается неблагоприятный гидравлический режим движения потока (стоячие и косые волны, уменьшение глубины воды в лотке и др. явления), приводящие к увеличению скоростей потока в 2–3 раза и более;

- поток, поступающий в нижний бьеф сооружения со скоростями, намного превышающими допустимые неразрывающие скорости

для грунта отводящего русла канала, способствует возникновению местных размывов в связи с образованием сбойных течений [15].

Материалы и методы. Разработанная конструкция сопрягающего сооружения (рисунок 1) не обладает приведенными недостатками.

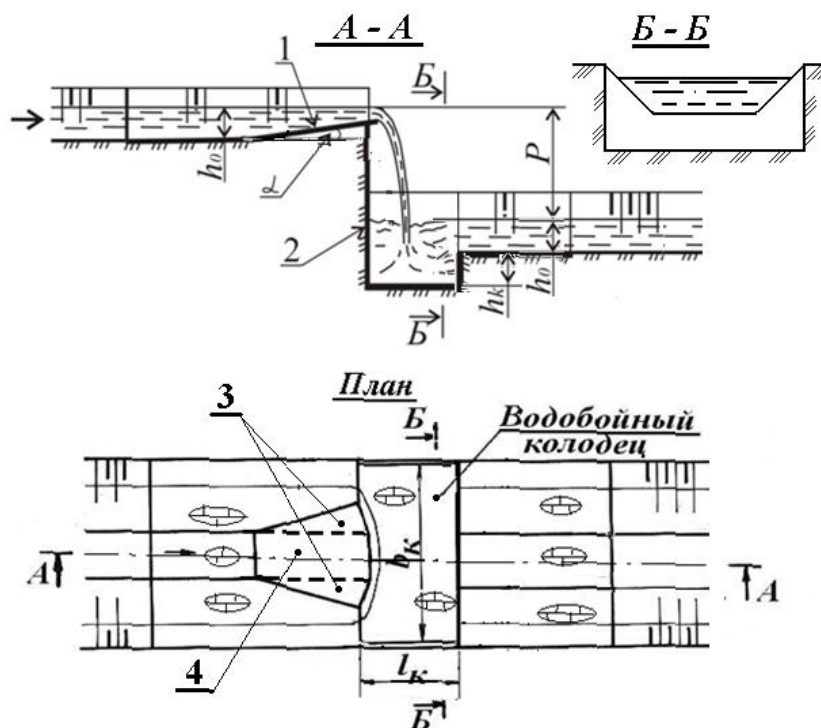


Рисунок 1 – Усовершенствованная конструкция сопрягающего сооружения открытого типа

Материалом для исследований явилась физическая модель сооружения, на которой было выполнено 4 серии опытов с изменениями высоты перепада, расходов воды, пропускаемых через сооружение и конструкции водобойной части.

Эта конструкция удовлетворяет требованиям современного строительного производства – выполняется из железобетонных сборных элементов заводского изготовления, т. е. унифицированных блоков [3]. Сооружение представляет собой открытый одноступенчатый перепад с пропускной способностью до $5 \text{ м}^3/\text{с}$, который изготавливается из двух диафрагм с трапецидальным вырезом, двух Г-образных блоков, двух треугольных и нескольких (в зависимости от высоты перепада) прямоугольных плит. Сооружение создает удовлетворительное сопряжение бьефов с геодезическим

перепадом дна от 1,5 до 5,0 м, обеспечивая экологическую безопасность территорий, находящихся в зоне обслуживания сооружения [4]. Конструктивные особенности его следующие.

Вход 1 непризматической формы имеет обратный уклон дна; при этом дно выполняется из двух треугольных 3 и одной прямоугольной 4 плит и расширенной частью опирается на небольшой прямоугольный вырез в верхней части диафрагмы 2. Таким образом, водосливная кромка имеет полигональное очертание и направлена выпуклостью в сторону нижнего бьефа, чем обеспечивается снижение кинетической энергии водного потока. Увеличение водосливного фронта способствует также уменьшению потенциальной энергии падающей струи.

Диафрагма 2, являющаяся стенкой падения (в перепадах), выполняется шириной, равной ширине подводящего канала по верху. В верхней части имеет прямоугольный вырез высотой, равной толщине наклонного дна входа, куда укладывается его конечная часть. Выше него вырез диафрагмы имеет форму трапеции с откосами, вписывающимися в форму сечения подводящего канала. В результате этого сужение русла подводящего канала сооружением не происходит. Если в процессе строительства окажется, что высота диафрагмы меньше необходимой стенки падения, то она наращивается снизу вставками из прямоугольных железобетонных плит.

Для устройства водобойной части необходимо два Г-образных блока, образующих прямоугольное поперечное сечение успокоительного бассейна. При больших размерах ширины водобойного колодца между Г-образными блоками делаются по дну вставки из прямоугольных плит. В конце водобойной части устанавливаются диафрагмы с вырезом трапецеидальной формы в верхней части (рисунок 1, сечение Б–Б).

Гидравлические исследования на модели сооружения выполнялись в лаборатории гидротехнических сооружений Новочеркасской государственной мелиоративной академии. Задача исследований преследовала цель

по выяснению характера гидравлической структуры потока при его пропуске расчетных расходов в зависимости от геометрических характеристик сооружения. Основное внимание при этом обращалось на равномерное распределение скоростей в живых сечениях и интенсивность затухания придонных скоростей по длине отводящего русла.

Масштаб модели выбирается исходя из размеров площади лабораторного зала, отведенной под строительство модели. В связи с этим модель сооружения была выполнена в масштабе 1:13. Опыты проводились при расходах от 2,46 до 8,2 л/с, что в переводе в натурные условия составляет от 1,5 до 5,9 м³/с. Глубина воды в нижнем бьефе менялась от 5 до 13 см, что в переводе в натуре составляет 0,65–1,69 м.

На основании проведенных поисковых опытов по исследованию входной части сооружения установлено, что длину входа $l_{\text{ВХ}}$ (м) целесообразно принять равной $l_{\text{ВХ}} = (5-7)h_0$, а разность отметок дна в начале и в конце входной части Z (м), равной $Z = 0,4h_0$, где h_0 – глубина воды в подводящем канале (нормальная глубина), м.

Методика гидравлического расчета входной части сооружения предлагается следующей.

Если в конце входной части глубину воды принять равной критической глубине $h_{\text{кр}}$, которая соответствует минимальному значению удельной энергии потока в рассматриваемом сечении, то расчет входной части при заданных: расходе, размерах подводящего канала и установленных выше ее длине и уклоне дна, будет сводиться к определению ширины по дну в конце входа – $b_{\text{к}}$ (м).

Соединив начальное и конечное сечения уравнением Бернулли, можно записать относительно плоскости сравнения, проходящей через наиниžшую точку дна в начале входа, следующее выражение:

$$E = E_{\text{к}} \pm il_{\text{ВХ}} + h_{\text{w}}, \quad (1)$$

где E и E_K – удельные энергии в начальном и концевом сечениях входной части, м;

i – уклон дна входной части (безразмерный);

$l_{ВХ}$ – длина входной части, м;

h_w – потеря энергии по длине входной части, м.

Удельная кинетическая энергия водного потока в начале входной части E определяется по гидравлическим характеристикам потока подводящего канала [16–18]:

$$E = h_0 + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2}. \quad (2)$$

Удельная кинетическая энергия водного потока в конце входной части E_K определяется по следующей зависимости:

$$E_K = h_{кр} + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega_{кр}^2}. \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) введены следующие обозначения:

α – коэффициент Кориолиса [19, 20], показывающий неравномерность распределения скоростей в живом сечении, $\alpha = 1,0–1,1$;

Q – расход воды в подводящем канале при спокойном неравномерном движении потока, м³/с;

g – ускорение сил тяжести, $g = 9,81$ м/с²;

ω – площадь живого сечения в начальном створе входной части, м²;

$h_{кр}$ – критическая глубина воды в конце входной части, м;

$\omega_{кр}$ – площадь живого сечения в конечном створе входной части с критической глубиной воды, м².

Уклон дна входной части для данной конструкции определяется следующим образом:

$$i = \frac{Z}{l_{ВХ}}.$$

Учитывая тот факт, что состояние потока в пределах входной части спокойное, потерями энергии по длине h_w , ввиду их малости, можно пренебречь. В таком случае, удельная кинетическая энергия потока в конце входной части определится из формулы (1):

$$E_k = E - il_{вх}.$$

Чтобы сохранить бытовой (ламинарный) режим движения водного потока в подводящем канале (без создания подпора или спада кривой свободной поверхности) расчет входа при обратном уклоне дна ($-i$) выполнен по способу В. И. Чарномского – М. М. Скибы [16].

При установившемся режиме движения потока в конце входной части образуется критическая глубина $h_{кр}$ (м), вычисление которой, а также ширины по дну b_k выполнено по способу М. М. Скибы [21], сущность которого заключается в следующем:

- определяется безразмерный параметр θ :

$$\theta = \frac{mE_k^2 \sqrt{2gE_k}}{Q\sqrt{\alpha}},$$

где m – коэффициент заложения откоса входной части в ее концевом створе;

- производится подсчет относительной критической глубины ε_k :

$$\varepsilon_k = \frac{h_{кр}}{E_k} = -0,0052\theta^2 + 0,056\theta + 0,667;$$

- выполняется расчет критической глубины по формуле:

$$h_{кр} = \varepsilon_k E_k = \varepsilon_k \frac{\alpha Q^2}{2g\omega_{кр}^2};$$

- вычисляется ширина b_k (м) по дну в концевом сечении входной части:

$$b_k = \frac{\sqrt{\alpha Q^2}}{h_{кр} \sqrt{2g(E_k - h_{кр})}} - mh_{кр}.$$

В опытах геодезический перепад в бьефах изменялся от одного

до трех нормальных глубин. Действие водобойного колодца на гашение избыточной энергии потока исследовалось при четырех его формах: прямоугольной, трапецеидальной, треугольной и параболической.

Материалы выполненных исследований показали, что наиболее простая прямоугольная форма водобойной части обеспечивает вполне удовлетворительное гашение избыточной энергии потока и позволяет применять при строительстве унифицированные сборные железобетонные элементы.

При исследованиях по определению основных размеров водобойного колодца рассматривалась его зависимость от величины расхода и геодезического перепада бьефов.

Согласно теории планирования экспериментов, исследования проводились по следующей схеме:

- величина геодезического перепада содержала значения – 11,5; 19,2; 27,0 и 38,5 см, что в переводе в натурную величину составляло – 1,5; 2,5; 3,5 и 5,0 м, что сформировало серии опытов;

- при каждом значении геодезического перепада изменялись величина расходов воды и геометрические параметры водобойного колодца.

Расходы воды на модели применялись: 2,5; 4; 5,8 и 8,2 л/с. В переводе в натурные условия они составляли соответственно: 1,5; 2,44; 3,5; 5,0 м³/с. Глубина водобойной части изменялась в пределах от 2,0 до 10,0 см или от 0,26 до 1,30 м натурной величины (н. в.). Длина водобойной части составляла 10–27 см, или 1,3–3,5 м н. в., ширина водобойного колодца изменялась от 24 до 47 см или от 2,1 до 6,1 м н. в. Всего необходимо было выполнить 256 опытов.

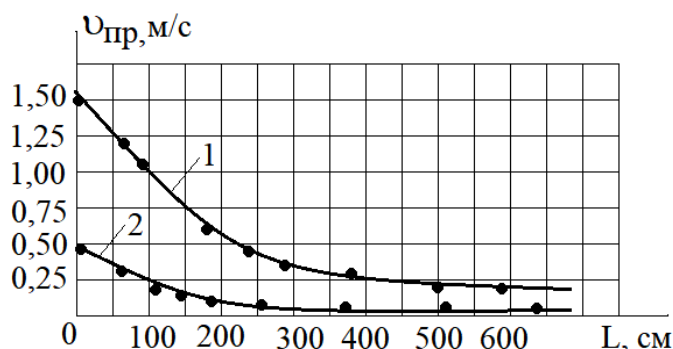
Спланировав эксперимент, число опытов составило 32 (с применением греко-латинского квадрата 4×4) [15, 22]. Числовые значения придонных скоростей по динамической оси потока, при максимальном расходе воды 8,2 л/с, четырех параметрах геодезического перепада и четырех формах водобойного колодца приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения придонных скоростей в створах нижнего бьефа

Длина до створа от стенки падения, см	Глубина воды в створе, см	Придонная скорость по динамической оси потока, м/с			
		Величина перепада дна бьефов, см			
		11,5	19,2	27,0	38,5
Водобойный колодец прямоугольной формы					
40	12,2	0,43	0,55	0,63	0,77
65	12,4	0,25	0,32	0,36	0,45
105	12,5	0,17	0,20	0,24	0,29
145	12,8	0,15	0,18	0,20	0,26
185	12,9	0,12	0,15	0,18	0,21
260	13,5	0,11	0,13	0,16	0,19
385	14,5	0,10	0,12	0,15	0,17
510	14,5	0,09	0,11	0,13	0,16
635	14,5	0,09	0,11	0,12	0,15
Водобойный колодец треугольной формы					
40	10,5	0,79	0,83	0,98	1,17
65	10,3	0,38	0,48	0,60	0,66
105	9,5	0,23	0,29	0,34	0,42
145	9,8	0,24	0,31	0,38	0,43
185	9,2	0,24	0,30	0,37	0,43
260	10,2	0,23	0,28	0,33	0,40
385	11,2	0,21	0,27	0,32	0,38
510	11,0	0,21	0,26	0,30	0,37
635	15,0	0,20	0,24	0,29	0,34
Водобойный колодец трапецидальной формы					
40	9,9	0,48	0,62	0,74	0,88
65	9,8	0,27	0,34	0,42	0,48
105	9,5	0,26	0,32	0,38	0,45
145	10,1	0,24	0,30	0,37	0,43
185	10,2	0,21	0,26	0,31	0,37
260	10,3	0,20	0,25	0,30	0,36
385	10,4	0,19	0,24	0,29	0,34
510	10,5	0,19	0,23	0,27	0,33
635	10,6	0,16	0,21	0,25	0,30
Водобойный колодец параболической формы					
40	10,8	0,44	0,57	0,68	0,81
65	11,5	0,28	0,35	0,42	0,52
105	11,4	0,19	0,20	0,24	0,30
145	10,9	0,18	0,22	0,26	0,31
185	12,6	0,13	0,14	0,20	0,21
260	13,4	0,14	0,15	0,19	0,21
385	14,6	0,14	0,14	0,18	0,20
510	14,2	0,13	0,14	0,18	0,19
635	14,5	0,12	0,13	0,16	0,18

Приведенные сведения в таблице 1 показывают, что распределение придонных скоростей по длине отводящего русла происходит удовлетво-

рительно при всех исследованных формах водобойной части. Однако более интенсивное затухание скоростей происходит при прямоугольной форме водобоя (рисунок 2).



1 – сооружение по проектным разработкам;
2 – новое сооружение с прямоугольным водобойным колодцем

Рисунок 2 – Распределение придонных скоростей в отводящем русле

На рисунке 2 приведено распределение придонных скоростей при максимальном расходе 8,2 л/с ($5 \text{ м}^3/\text{с}$ в натуре) с величиной перепада дна бьефов 11,5 см (1,5 м н. в.). Такие характеристики соответствуют данным большинства исследованных сооружений на каналах оросительных систем Ставрополя. У исследованных и обследованных сооружений перепады дна бьефов составили от 1,1 до 1,6 м. Расход воды в период исследований пропускался от 1,5 до $2,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

На всех натуральных объектах фактическая высота порога в конце водобойной части составила 0,10–0,15 м, что недостаточно для гашения избыточной энергии потока или размещения гидравлического прыжка в пределах водобойной части. В связи с этим, в натуральных условиях, затухание скоростей потока случается за пределами жесткого крепления нижнего бьефа, и поэтому происходит размыв дна и откосов земляного русла отводящего канала. По данным таблицы 1 и рисунка 2 можно судить, что за новым сооружением активное гашение энергии происходит в пределах водобойной части, из которой поток выходит в отводящее русло со скоростями не опасными в отношении размыва для грунтов земляного канала.

Исследования скоростной структуры потока в нижнем бьефе соору-

жения проводились с целью установления наиболее рациональной формы водобойной части, а также определения ее оптимальных размеров, обеспечивающих эффективное гашение избыточной кинетической энергии потока и надежную работу нижнего бьефа.

По данным измерения осредненных во времени скоростей течения (в стандартных точках скоростных вертикалей) в каждом створе строились линии равных скоростей в живом сечении потока. По данным измерений продольных скоростей в каждом створе строились графики затухания максимальных придонных скоростей по динамической оси потока.

Опыты, выполненные на модели, показали, что при пропуске расходов меньше максимального расчетного, длина отлета траектории ниспадающей с гребня водослива струи меньше, начало колодца-гасителя целесообразно совмещать со стенкой падения сооружения. Такая компоновка упрощает конструкцию водобойной части, исключает при всех возможных расходах падение потока за пределами водобойной части, и тем самым повышает надежность работы отводящего русла. На гидравлические условия в нижнем бьефе наряду с формой колодца-гасителя существенное значение оказывают и его геометрические размеры.

Выполненные лабораторные исследования позволили определить основные габаритные оптимальные размеры водобойного колодца прямоугольной формы в зависимости от расхода и перепада дна бьефов, обеспечивающие удовлетворительное сопряжение бьефов. Результаты опытов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные к назначению основных параметров водобоя прямоугольной формы

Расход, м ³ /с	Геодезический перепад дна бьефов, м											
	1,5			2,5			3,5			5,0		
	Размеры водобойного колодца, м											
	l_k	b_k	h_k	l_k	b_k	h_k	l_k	b_k	h_k	l_k	b_k	h_k
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,5	1,2	3,0	0,3	1,5	3,0	0,4	1,6	3,0	0,5	1,8	3,0	0,7
2,5	1,5	3,5	0,4	1,7	3,5	0,4	1,8	3,5	0,6	2,0	3,5	0,7

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,5	1,9	3,7	0,5	2,1	3,7	0,6	2,3	3,7	0,8	2,5	3,7	0,9
5,0	2,8	5,2	0,6	3,0	5,2	0,8	3,2	5,2	1,1	3,5	5,2	1,3
Примечание – все величины пересчитаны в натурные условия в масштабе 1/13; l_k, b_k, h_k – соответственно длина, ширина и глубина водобойного колодца.												

Выводы

1 Разработанная авторами конструкция усовершенствованного сопрягающего сооружения мелиоративных систем обладает рядом положительных качеств, в сравнении с другими существующими. Она обеспечивает надежность и экологическую безопасность в процессе его длительной эксплуатации.

2 Исследованная конструкция сооружения имеет высокую эффективность гашения избыточной энергии потока, простая в изготовлении, так как выполняется из унифицированных железобетонных элементов производственного изготовления.

3 Эффект гашения избыточной энергии водного потока достигается посредством обратного уклона входной части сооружения и ее полигональной формы в конце, а также диафрагмы (стенки падения), исключая боковое сжатие потока, ниспадающего с полигонального водослива, чем обеспечивается равномерное распределение удельных расходов по ширине. В водобойной части, в результате активного турбулентного перемешивания, поток теряет значительную часть кинетической энергии.

4 Лабораторные исследования усовершенствованной конструкции сопрягающего сооружения позволили установить оптимальные размеры входной части, разработать методику ее расчета из условия минимума удельной энергии в сечении на гребне полигонального водослива. С помощью проведенных исследований удалось установить наиболее рациональную и эффективную форму водобойной части и ее оптимальные размеры, обеспечивающие удовлетворительную безаварийную работу ниже-

го бьефа при пропуске разных расходов, и при нескольких значениях геодезических перепадов дна бьефов.

5 Из исследованных четырех конструкций водобойной части наиболее перспективной для обеспечения долговечной и надежной работы нижнего бьефа, явился ковшовый гаситель прямоугольной формы, с компоновкой которого и рекомендуется сопрягающее сооружение к внедрению в производство.

6 Опыты по исследованию поля скоростей в нижнем бьефе усовершенствованной конструкции сопрягающего сооружения показали, что затухание придонных скоростей по длине отводящего русла происходит весьма интенсивно (рисунок 2), в сравнении за быстроеком с уступом по типовому проекту.

Список использованных источников

1 Сахненко, М. А. К вопросу надёжности строительных конструкций портовых гидротехнических сооружений / М. А. Сахненко // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2015. – № 2(15). – С. 12–17.

2 Расчётное обоснование решений по обеспечению надёжности конструкций водосброса № 2 бетонной плотины Богучанской ГЭС / С. Е. Лисичкин, О. Д. Рубилин, В. П. Гребенщиков [и др.] // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2005. – Т. 244. – С. 228–234.

3 Тамразян, А. Г. К задачам мониторинга риска зданий и сооружений / А. Г. Тамразян // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2013. – № 3(170). – С. 19–21.

4 Васильев, С. М. Оценка экологической безопасности открытой оросительной сети по условиям подъема уровня грунтовых вод и засоления почв / С. М. Васильев // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – Ростов н/Д., 2006. – Приложение № 2. – С. 127–131.

5 Васильев, С. М. Методические указания по выбору комплекса уходных эксплуатационных работ при аварийных сбросах магистральных каналов оросительных систем в зависимости от характеристик объекта-представителя / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Научно-технические достижения, рекомендуемые для использования в мелиорации и водном хозяйстве: науч.-практ. кат. паспортов НТД. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2015. – Вып. 38. – С. 25–26.

6 Васильев, С. М. Повышение экологической безопасности способов орошения для формирования устойчивых агроландшафтов в аридной зоне: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Васильев Сергей Михайлович. – Волгоград, 2006. – 35 с.

7 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надёжность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2004. – 388 с.

8 Щедрин, В. Н. Новая стратегия оросительных мелиораций – циклическое орошение / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Т. П. Андреева // Вопросы мелиорации. – 2008. – № 3–4. – С. 7–20.

9 Мирцхулава, Ц. Е. О критериях надежности при проектировании гидромелиоративных сооружений / Ц. Е. Мирцхулава // Доклады ВАСХНИЛ. – 1972. – № 2. – С. 39–41.

10 Косиченко, Ю. М. Высоконадежные конструкции противofiltrационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надёжности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Гидротехническое строительство. – 2014. – № 8. – С. 18–25.

11 Косиченко, Ю. М. Исследования в области борьбы с фильтрацией и эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений / Ю. М. Косиченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2012. – № 2(06). – С. 86–94. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=100&id=108>.

12 Тищенко, А. И. Проблема продления жизненных ресурсов сетевых гидротехнических сооружений / А. И. Тищенко // Интеграция науки и образования – стратегия устойчивого развития водно-мелиоративного комплекса страны: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию выпуска первого мелиоратора России 29–30 мая 2013, г. Новочеркасск. – Новочеркасск: Лик, 2013. – С. 163–166.

13 Тищенко, А. И. Обеспечение надёжной работы сбросных гидротехнических сооружений / А. И. Тищенко // Техносферная безопасность, надёжность, качество, энергоснабжение: материалы 14 Междунар. науч.-практ. конф. (Ростов-на-Дону – Новомихайловский, 2012 г.). Вып. XIV: в 3 т. – Ростов н/Д.: РГСУ, 2012. – Т. 3. – С. 156–161.

14 Тищенко, А. И. Исследования быстротоков с уступом на Курской обводнительно-оросительной системе Ставропольского края / А. И. Тищенко, О. А. Баев. // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 1(65). – С. 217–223.

15 Тищенко, А. И. Сетевые гидротехнические сооружения / А. И. Тищенко. – Новочеркасск, 2008. – 247 с.

16 Справочник по гидравлике для мелиораторов / П. М. Степанов, И. Х. Овчаренко, Ю. А. Скобельцын. – М.: Колос, 1984. – 207 с.

17 Киселев, П. Г. Гидравлика: основы механики жидкости: учеб. пособие для вузов / П. Г. Киселев. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.

18 Богомоллов, А. И. Гидравлика: учеб. для вузов / А. И. Богомоллов, К. А. Михайлов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1972. – 648 с.

19 Курс теоретической механики: учеб. для вузов / под ред. К. С. Колесникова, В. В. Дубинина. – М.: МГТУ, 2011. – 758 с.

20 Никитин, Н. Н. Курс теоретической механики: учебник / Н. Н. Никитин. – 8-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2011. – 720 с.

21 Скиба, М. М. Гидравлика сопряжения бьефов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.09 / Скиба Михаил Матвеевич. – М., 1960. – 53 с.

22 Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 384 с.

References

1 Sakhnenko M.A., 2015. *K voprosu nadozhnosti stroitel'nykh konstruksiy portovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [On the issue of reliability of building structures of port hydraulic structures]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy i puti ikh resheniya* [Modern Science: Urgent Problems and Ways to Solve Them], no. 2(15), pp. 12-17. (In Russian).

2 Lisichkin S.E., Rubilin O.D., Grebenschikov V.P. [et. al.], 2005. *Raschotnoe obosnovanie resheniy po obespecheniyu nadozhnosti konstruksiy vodosbrosa nomer 2 betonnoy plotiny Boguchanskoj GES* [Analysis of a reliability assurance solution for the structure of

spillway no. 2 of the concrete dam at the Boguchanskaya HPP]. *Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneva* [Proceed. of the VNIIG named after B.E. Vedenev], vol. 244, pp. 228-234. (In Russian).

3 Tamrazyan A.G., 2013. *K zadacham monitoringa riska zdaniy i sooruzheniy* [On the task of buildings and structures risk monitoring]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction materials, equipment, technologies of the XXI Century], no. 3(170), pp. 19-21. (In Russian).

4 Vasil'ev S.M., 2006. *Otsenka ekologicheskoy bezopasnosti otkrytoy orositel'noy seti po usloviyam pod"ema urovnya gruntovykh vod i zasoleniya pochv* [Assessment of the environmental safety of an open irrigation network under the conditions of rising groundwater levels and soil salinization]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* [Bull. Universities. Northern Caucasus Region. Technical Sciences]. Rostov n/D., Appendix no. 2, pp. 127-131. (In Russian).

5 Vasil'ev S.M., Domashenko Yu.E., 2015. *Metodicheskie ukazaniya po vyboru kompleksa ukhodnykh ekspluatatsionnykh работ pri avariynnykh sbrosakh magistral'nykh kanalov orositel'nykh sistem v zavisimosti ot kharakteristik ob"ekta-predstavatelya* [Laboratory operations manual on the choice of a complex of maintenance work during emergency discharges of main irrigation canals depending on the characteristics of the representative object]. *Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya, rekomenduemye dlya ispol'zovaniya v melioratsii i vodnom khozyaystve: nauch.-prakt. kat. passportov NTD* [Scientific and Technical Achievements, Recommended for Use in Land Reclamation and Water Management: scientific-practical cat. passports NTD]. Moscow, TSNTI "Meliovodinform" Publ., vol. 38, pp. 25-26. (In Russian).

6 Vasil'ev S.M., 2006. *Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti sposobov orosheniya dlya formirovaniya ustoychivyykh agrolandshaftov v aridnoy zone. Avtoreferat diss. d-ra tekh.* [Improving the environmental safety of irrigation methods for the formation of sustainable agricultural landscapes in the arid zone. Abstract of Dr. techn sci. diss.]. Volgograd, 35 p. (In Russian).

7 Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Kolganov A.V., 2004. *Ekspluatatsionnaya nadozhnost' orositel'nykh sistem* [Operational Reliability of Irrigation Systems]. Rostov n/D., SKNTS VS, 388 p. (In Russian).

8 Shchedrin V.N., Vasil'ev S.M., Andreeva T.P., 2008. *Novaya strategiya orositel'nykh melioratsiy – tsiklichesкое oroshenie* [New strategy of irrigation reclamation – cyclic irrigation]. *Voprosy melioratsii* [Issues of Land Reclamation], no. 3-4, pp. 7-20. (In Russian).

9 Mirtskhulava Ts.E., 1972. *O kriteriyakh nadezhnosti pri proektirovaniy gidromeliorativnykh sooruzheniy* [On the criteria of reliability in the design of hydromelioration facilities]. *Doklady VASKHNIL* [Reports of the Academy of Agricultural Sciences], no. 2, pp. 39-41. (In Russian).

10 Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2014. *Vysokonadezhnye konstruksii protivofil'tratsionnykh pokrytiy kanalov i vodoemov, kriterii ikh effektivnosti i nadozhnosti* [Highly reliable constructions of anti-filtration coatings of canals and reservoirs, criteria for their efficiency and reliability]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 8, pp. 18-25. (In Russian).

11 Kosichenko Yu.M., 2012. *Issledovaniya v oblasti bor'by s fil'tratsiyey i ekspluatatsionnoy nadezhnosti gruntovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Studies in the field of filtration control and operational reliability of soil hydraulic structures]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 2(06), pp. 86-94, available: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=100&id=108>. (In Russian).

12 Tischenko A.I., 2013. *Problema prodleniya zhiznennykh resursov setevykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [The problem of extending the vital resources of networked hydraulic structures]. *Integratsiya nauki i obrazovaniya – strategiya ustoychivogo razvitiya*

vodno-meliorativnogo kompleksa strany: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 100-letiyu vypuska pervogo melioratora Rossii 29–30 maya 2013 [Integration of Science and Education – a Strategy for the Sustainable Development of a Country's Water-Reclamation Complex: Proceed. of International scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the first irrigator graduation of Russia on May 29–30]. Novocherkassk, Lick Publ., pp. 163-166. (In Russian).

13 Tischenko A.I., 2012. *Obespechenie nadozhnoy raboty sbrosnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Ensuring reliable operation of waste hydraulic structures]. *Tekhnosfer-naya bezopasnost', nadozhnost', kachestvo, energosnabzhenie: materialy 14 Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Technosphere Safety, Reliability, Quality, Energy Supply: Proceed. of 14 Intern. scientific-practical conference], issue XIV, in 3 vol. Rostov n/D., RGSU Publ., vol. 3, pp. 156-161. (In Russian).

14 Tishchenko A.I., Baev O.A., 2017. *Issledovaniya bystrotokov s ustupom na Kurskoy obvodnitel'no-orositel'noy sisteme Stavropol'skogo kraya* [Investigations of swift flats with a ledge at the Kursk watering-irrigation system of Stavropol Territory]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(65), pp. 217-223. (In Russian).

15 Tishchenko A.I., 2008. *Setevye gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Network Hydraulic Structures]. Novocherkassk, 247 p. (In Russian).

16 Stepanov P.M., Ovcharenko I.Kh., Skobeltsyn Yu.A., 1984. *Spravochnik po gidravlike dlya melioratorov* [Handbook of Hydraulics for Land Reclamation]. Moscow, Kolos Publ., 207 p. (In Russian).

17 Kiselev P.G., 1980. *Gidravlika: osnovy mekhaniki zhidkosti: ucheb. posobie dlya vuzov* [Hydraulics: Fundamentals of Fluid Mechanics: study guide for higher education]. Moscow, Energy Publ., 360 p. (In Russian).

18 Bogomolov A.I., Mikhaylov K.A., 1972. *Gidravlika: ucheb. dlya vuzov* [Hydraulics: textbook for higher education]. 2nd ed., upd. and rev. Moscow, Stroiizdat Publ., 648 p. (In Russian).

19 Kolesnikov K.S., Dubinin V.V., 2011. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki: ucheb. dlya vuzov* [The course of theoretical mechanics: textbook for higher education]. Moscow, MSTU Publ., 758 p. (In Russian).

20 Nikitin N.N., 2011. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki: uchebnik* [The Course of Theoretical Mechanics: a textbook]. 8th ed., Saint Petersburg, Lan' Publ., 720 p. (In Russian).

21 Skiba M.M., 1960. *Gidravlika sopryazheniya b'efov. Avtoreferat diss. d-ra tekh. nauk* [Hydraulics of the Pairing of Pools. Abstract of Dr. techn sci. diss.]. Moscow, 53 p. (In Russian).

22 Schenk Kh., 1972. *Teoriya inzhenerenogo eksperimenta* [Theory of Engineering Experiment]. Moscow, Mir Publ., 384 p. (In Russian).

Васильев Сергей Михайлович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: врио директора

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Vasilyev Sergey Mikhaylovich

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Acting Director

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Тищенко Александр Иванович

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: aleks.tishencko2016@mail.ru

Tischenko Alexandr Ivanovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: aleks.tishencko2016@mail.ru

Сенчуков Герман Александрович

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: заместитель директора по науке и инновациям

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm_vodreestr_gmvo@mail.ru

Senchukov German Alexandrovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Deputy Director for science and innovation

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm_vodreestr_gmvo@mail.ru

Гостищев Вячеслав Дмитриевич

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Ученое звание: доцент

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственной бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Gostishchev Vyacheslav Dmitriyevich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Title: Associate Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru